Phys. g. 626 z

Vorleſungen

über die

Naturlehre

für

Leſer, denen es an mathematiſchen Vorkenntniſſen fehlt,

von

H. W. Brandes,
Profeſſor an der Univerſität zu Leipzig u. ſ. w.

Zweite vermehrte und verbeſſerte Ausgabe,

beſorgt von

C. W. H. Brandes und W. J. H. Michaelis,
Doctoren der Philoſophie.

Mit 16 Kupfern.

Kön. Baier. Ministerial Haupt-Forst-Buchhaltung
Bayer. Staatsministerium
f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten
Ministerialforstabteilung
Bücherei
KGL. MINISTERIALFORSTBUREAU
672

Leipzig.
Verlag der G. J. Göſchen'ſchen Buchhandlung.
1844.

Gd 163/3020

Bayerische
Staatsbibliothek
MÜNCHEN

Buchdruckerei der J. G. Cotta'ſchen Buchhandlung in Stuttgart.

Bayerische
Staatsbibliothek
MÜNCHEN

Vorwort zur zweiten Ausgabe.

Unter den zahlreichen Werken, welche eine populäre, allgemein faßliche Behandlung der Naturlehre zum Gegenſtande haben, nehmen die gegenwärtig in einer neuen Ausgabe erſcheinenden „Vorleſungen über die Naturlehre" anerkanntermaßen einen ausgezeichneten Platz ein. Seit ihrem erſten Erſcheinen iſt wenig über ein Jahrzehent verfloſſen, aber dennoch ließen die überaus zahlreichen Fortſchritte, welche die Wiſſenſchaft gerade in dieſem Zeitraume gemacht hat, eine neue Bearbeitung als ſehr wünſchenswerth, ja in mancher Beziehung als dringendes Bedürfniß erſcheinen. Nach dem Tode des würdigen, um die Naturlehre ſo vielfach verdienten, als Schriftſteller und Forſcher wie als Univerſitätslehrer gleich ausgezeichneten Verfaſſers (im J. 1834) machte ſein älteſter Sohn, der ſich mit dem regſten Eifer und glücklichſtem Erfolg dem Studium ſeines Vaters widmete, es ſich zur Aufgabe, das letzte größere Werk ſeines verewigten Vaters dem Publicum in einer neuen Bearbeitung vielfach verbeſſert und vervollſtändigt vorzuführen, und wandte auf dieſe mit Liebe begonnene und fortgeſetzte Arbeit um ſo größern Fleiß, als ihm die Pietät des Sohnes die größte Gewiſſenhaftigkeit zur Pflicht machte. Leider ſollte er die Vollendung derſelben nicht erleben; er war mit der Ausarbeitung des Manuſcripts kaum bis in die Mitte des zweiten Bandes gekommen, und eben mit der Lehre

vom Lichte beſchäftigt, als er in der Blüthe ſeiner Jahre, nur zu früh für die Wiſſenſchaft und die Seinen, aus dem irdiſchen Daſeyn abgerufen und einem höhern Lichte zugeführt wurde (am 25. Jan. 1843). Die Hinterlaſſenen ertheilten darauf dem Unterzeichneten den Auftrag, die unterbrochene Arbeit zu vollenden; und obgleich derſelbe, der in dem Verfaſſer gleichfalls einen Lehrer und väterlichen Freund zu verehren hat, dem er zeitlebens ein dankbares Andenken widmen wird, lebhaft fühlen mußte, wie wenig er befähigt ſey, ſeinen verſtorbenen Vorgänger im eigentlichen Sinne zu erſetzen, ſo konnte er es doch, beſtimmt durch Rückſichten der Pietät und Dankbarkeit, nicht über ſich gewinnen, einen Auftrag abzulehnen, der ihm als ein Beweis ehrenden Vertrauens in hohem Grade erfreulich ſeyn mußte.

Daß die neue Ausgabe wirklich eine umgearbeitete iſt, wird ſelbſt eine flüchtige Vergleichung derſelben mit der erſten ergeben. Die größten Veränderungen kommen freilich verhältnißmäßig in der erſten Hälfte des Werks vor, da der Unterzeichnete ſich nicht für berechtigt halten konnte, in dieſer Beziehung ſo weit zu gehen, als ſein Vorgänger. Der letztere hat vielfach die Reihenfolge der Materien geändert und unter andern folgende Abſchnitte theils hinzugefügt, theils ganz umgearbeitet.

Theilbarkeit der Körper . . . . S. 9—12.
Zuſammenſetzung von Bewegungen . . . . „ 27 f.
Zuſammenſetzung der Kräfte . . . . . . „ 29—34.
Reibung . . . . „ 34—37.
Hebel . . . . „ 39—41.
Bremsdynamometer . . . . „ 46 f. (neu)
Schnellwaage . . . . „ 53 f.
Gleichgewichtsſtellung ſchwimmender Körper . „ 120—123.
Stoß flüſſiger Körper u. ſ. w. . . . . . „ 138—142.
Permanente Gaſe u. ſ. w. . . . . „ 149—151. (neu)
Luftſtrömungen, Winde . . . . „ 158—162.
Oſcillationen des Barometers . . . . . „ 170—172.
Luftpumpe . . . . „ 174—177.
Verdichtung der Luft . . . . „ 186—189.
Stoß und Widerſtand der Luft; Anwendung auf die Luftſchifffahrt . . . . „ 201—207.

Entſtehung der Dur-Tonleiter . . . . . S. 215—221.
Stöße nahe übereinſtimmender Töne; Combinationstöne; Töne der Sirene und gezähnter Räder u. ſ. w. . . . . „ 225—233. (neu)
Transverſal-Schwingungen geſpannter Saiten „ 233—237. (neu)
Töne der geſchloſſenen und offenen Pfeifen . „ 253—261.
Das Stimmorgan . . . . „ 264 f.
Längentöne und Fortpflanzung des Schalls in feſten Körpern. Mittheilung ſtehender Schwingungen. Reſonanz . . . . . . „ 266—270.
Die Linſengläſer . . . . „ 359—365.
Die Camera obſcura. Das zuſammengeſetzte Microſcop . . . . „ 376—379.

Als er ſtarb, war er noch nicht bis zu den die Theorie des Lichtes betreffenden Abſchnitten gelangt, und nichts ließ errathen, ob er der von ſeinem Vater vertheidigten Anſicht und demgemäß der Emiſſionstheorie treu zu bleiben oder vielmehr der Undulationstheorie den Vorzug zu geben geſonnen geweſen ſey, in welchem Falle freilich eine gänzliche Umarbeitung des über die Theorie des Lichtes Geſagten erforderlich geweſen wäre. Lange war daher der Unterzeichnete ungewiß, welchen Weg er hier einzuſchlagen habe, da gegenwärtig die Richtigkeit der letztern Theorie als über jeden Zweifel erhaben anzuſehen iſt und von der großen Mehrzahl der Phyſiker eingeräumt wird. Er entſchloß ſich jedoch nach reiflicher Ueberlegung, in dieſer Hinſicht keine Veränderung vorzunehmen, namentlich aus dem Grunde, weil es auch jetzt noch nicht an ausgezeichneten und berühmten Phyſikern (unter denen nur Biot genannt zu werden braucht) fehlt, die ſich noch immer für die Emiſſionstheorie erklären, ſodaß es ungewiß erſcheinen muß, ob der verſtorbene Verfaſſer ihr abtrünnig geworden wäre.

Die von ihm hinzugefügten Abſchnitte ſind hauptſächlich folgende, wobei jedoch zu bemerken iſt, daß viele Zuſätze in Anmerkungen verwieſen ſind, welchen das Zeichen (M.) beigeſetzt iſt.

Dauer der Lichteindrücke. Thaumatrop. Stroboſcopiſche Scheiben . . . . S. 444—447.
Farbenringe im polariſirten Lichte. Kreisförmige Polariſation . . . . „ 541—544.

Lichtbilder. Wirkungen unſichtbarer Lichtſtrahlen S. 553—557.
Pyro- und Thermometer . . . . „ 570—574.
Schmelzpunkte verſchiedener Körper . . . . „ 633 f.
Conſtante Ketten . . . . „ 820—822.
Galvanoplaſtik . . . . „ 839—841.
Erdmagnetismus . . . . „ 900—902.
Electromagnetismus als bewegende Kraft. . . „ 941—943.
Anwendung des Thermomagnetismus auf die
Wärmemeſſung . . . . „ 960 f.
Rotationsmaſchinen . . . . „ 963—967.
Electriſche Telegraphie . . . . „ 967—970.

Möchte das Bemühen des Unterzeichneten, auch an ſeinem Theile das Werk auf den Standpunkt der Gegenwart zu erheben, ohne damit Veränderungen vorzunehmen, die es ganz unkenntlich und theilweiſe zu einem ganz andern gemacht hätten, nicht mißlungen ſeyn; möchte er zwiſchen dem zu wenig und zu viel hinſichtlich der Veränderungen und Zuſätze die rechte Mitte getroffen und dem in mehreren Abſchnitten veralteten Werke ſeines theuern Lehrers die frühere Brauchbarkeit zu geben mit Erfolg beigetragen haben.

Leipzig, am 4. October 1844.

Dr. Julius Michaelis.

Inhalt.

Seite

Erſte Vorleſung. Einleitung. Ueber den Umfang und ganzen Inhalt der Phyſik. Anordnung des Studiums der Phyſik. Nutzen deſſelben 1

Zweite Vorleſung. Allgemeine Eigenſchaften der Materie. Geſtalt der Körper. Undurchdringlichkeit. Theilbarkeit. Poroſität. Cohärenz. Feſtigkeit (des Eiſens, des Holzes, des Papieres). Härte und Weichheit. Spröde und zähe Körper. Elaſticität 9

Dritte Vorleſung. Bewegung und Ruhe. Abſolute und relative Bewegung. Bewegung der Erde. Bahn des bewegten Körpers. Geſchwindigkeit. Gleichförmige Bewegung. Accelerirte oder retardirte Bewegung. Kraft. Geſetz der Trägheit. Beſchleunigende Kräfte. Mittheilung der Bewegung. Jeſſop's Methode Felſen zu ſprengen. Weiches Eiſen ſchneidet in Stahl 19

Vierte Vorleſung. Gleichgewicht. Statik. Federwaage. Rumford's Verſuche mit Fuhrwerk. Dynamometer. Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte. Parallelogramm der Kräfte. Bewegung der Schiffe bei ungünſtigem Winde, des Papierdrachen, des Tretrades. Anwendung der geneigten Ebne, der Schraube, des Keils. Reibung; Vortheile und Nachtheile derſelben; — warum entgleiten keilförmige Körper unſrer Hand? 28

Fünfte Vorleſung. Hebel. Kraft der Muskeln. Relative Feſtigkeit der Körper. Der ſtärkſte Balken. Rad an der Welle und Räderwerk. Moment der Reibung. Brems-Dynamometer 38

Sechste Vorleſung. Schwerpunkt. Sicherheit des Gleichgewichtes. Die gewöhnliche Waage. Schnellwaage. Brückenwaage. Kettenlinie. Gewölbe 47

Siebente Vorleſung. Geſetze des freien Falles. Atwood's Fallmaſchine. Bahn geworfener Körper. Parabel. Bewegung des Mondes um die Erde, der Planeten um die Sonne. Allgemeine Attraction aller Weltkörper. Meteorſteine. Maſſe der Sonne. Anziehungskraft der Berge. Dichtigkeit der ganzen Erde. Drehwaage. Anziehung kleiner Maſſen. Wie im Innern der Erde die Schwerkraft abnimmt. Ebbe und Fluth 56

Achte Vorleſung. Schwungkraft. Geſetze für die Beſtimmung ihrer Stärke. Schwungmaſchine. Verſuch mit derſelben. Verſuch über die Geſtalt der Erde. Stellung der Kunſtreiter. Der Brummkreiſel. Moment der Trägheit. Das Schwungrad. Wie man aus aſtronomiſchen Beobachtungen ſich von der gleichbleibenden Wärme der ganzen Erde überzeugt 69

Seite

Neunte Vorleſung. Vom Pendel. Hauptgeſetz der Pendelſchwingungen. Pendel. Mittelpunkt des Schwunges. Die genaue Größe des Fallraums in einer Secunde. Beſtimmung der Figur der Erde. Beſſel's Beſtimmung der Pendellänge. Mittel zu ſehr feinen Längenmeſſungen. Comparateur. Fühlhebel. Andre Oſcillationsbewegungen. Cycloide. Tautochrone. Brachyſtochrone. Metronom. Glocken zum Geläute. Federn an Kutſchen 78

Zehnte Vorleſung. Vom Stoße feſter Körper. Quantität der Bewegung. Geſetze des Stoßes unelaſtiſcher Kugeln. Geſchwindigkeit der abgeſchoſſenen Kugeln. Tragekraft eingerammter Pfähle. Eindringen der Kugeln in Erdwälle. Geſetze des Stoßes elaſtiſcher Kugeln. Schiefer Stoß. Billardſpiel 89

Eilfte Vorleſung. Flüſſige Körper. Gleichmäßige Verbreitung des Druckes in denſelben. Elaſtiſch flüſſige und tropfbar flüſſige Körper. Größe des Druckes auf jeden Theil der Wand. Zerſprengen von Flaſchen durch einen geringen Druck. Bramah's Waſſerpreſſe. Der Druck des Waſſers wegen ſeiner Schwere. Horizontale Oberfläche. Waſſerwägen, Nivelliren. Schichten verſchiedener Flüſſigkeiten. Die Kunſt, Waſſer in Wein zu verwandeln. Strömungen des Waſſers beim Kochen. Meeresſtröme. Auffallende Erſcheinungen des Waſſerdruckes. Anwendung bei Waſſerbauten und bei Maſchinen 98

Zwölfte Vorleſung. Druck des Waſſers auf eingetauchte Körper. Wie viel der eingetauchte Körper an Gewicht verliert. Eisberge. Die Kunſt, wodurch Menſchen ſich ſchwimmend erhalten. Wahrnehmungen, wozu das ungleiche ſpecifiſche Gewicht des Meerwaſſers und Flußwaſſers, des kalten und warmen Waſſers Veranlaſſung giebt. Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes der Körper. Gewicht eines Cubikzolles Waſſer. Aräometer. Welche Lage nimmt der ſchwimmende Körper an? Sichres und unſichres Gleichgewicht. Bemerkungen aus der Schifffahrtskunde . 111

Dreizehnte Vorleſung. Geſchwindigkeit des ausfließenden Waſſers. Feuerſpritzen. Zuſammengezogner Strahl. Arteſiſche Brunnen. Ausfließende Waſſermenge. Oſcillationen des Waſſers in Röhren. Montgolfier's hydrauliſcher Widder. Mascaret. Merkwürdige Sturmfluthen. Wellen. Kreislauf der Waſſertheilchen. Neue Welle, die hinter einer ſchon erregten entſteht. Wie tief die Wellen gehen, wie hoch ſie gehen; ihr verderbliches Ueberſtürzen. Zurückwerfung der Wellen; ihr Zuſammentreffen im Brennpunkte der Ellipſe 123

Vierzehnte Vorleſung. Größe der Kraft des Stoßes flüſſiger Körper. Waſſermühlen. Kreiſelräder. Strommeſſer. Waſſermaſſen, die von den Strömen ins Meer geführt werden. Nützlicher Effect, den ſie zu leiſten vermögen. Gewalt des Waſſerſtoßes. Widerſtand, den feſte Körper leiden. Strudel in Strömen. Rückwirkung der Flüſſigkeiten. Segner'ſches Rad. Zurückprallen der Kanone. Compreſſion des Waſſers. Piezometer 138

Funfzehnte Vorleſung. Elaſticität der Luft. Permanente Gaſe und Dämpfe. Abhängigkeit der Elaſticität von der Dichtigkeit und Temperatur. Die Luft iſt ſchwer. Druck der Luft. Stechheber. Leslie's Stereometer. Saugpumpe. Heber. Wirkung des Luftdruckes auf den menſchlichen Körper. Luftſtrömungen, Winde 148

Sechzehnte Vorleſung. Barometer. Gefäßbarometer. Heberbarometer. Luftleerer Raum. Nonius oder Vernier. Höhenmeſſung mit dem Barometer. Mariotte'ſches Geſetz. Tafel der Barometerhöhen, in verſchiedenen Höhen. Nöthigſte Regeln für das Höhenmeſſen. Ungleiche Wärme in verſchiedenen Höhen und daraus entſpringende Fehler beim Höhenmeſſen. Dalton's Theorie. Tägliche Oſcillationen der Barometerhöhe. Veränderungen des Barometers in den gemäßigten und kalten Zonen. Verſchiedenheit des Barometerſtandes bei ungleichen Winden. Sehr tiefe Barometerſtände bei Stürmen 162

Siebzehnte Vorleſung. Luftpumpe. Der doppelt durchbohrte Hahn. Schädlicher Raum. Ventilpumpe. Barometerprobe. Birnprobe. Guerik'ſche Halbkugeln.

Seite

Größe des Luftdrucks auf den menſchlichen Körper. Schröpfen. Entwickelung von Luft aus den Körpern. Abwägung der Luft. Gewichtsverluſt in der Luft. Manometer. Fall der Körper im Vacuum 174

Achtzehnte Vorleſung. Verdichtung der Luft; Meſſung derſelben. Starker Druck der verdichteten Luft. Windbüchſe. Abmeſſung der Gewalt des Schießpulvers. Gebläſe. Orgel. Heronsbrunnen. Natürliche Springbrunnen. Luftballons. Anwendung der erwärmten Luft, der brennbaren Luft. Berechnung ihrer Steigekraft und der Höhe, die ſie erreichen. 186

Neunzehnte Vorleſung. Ausſtrömungsgeſchwindigkeit der Luft. Stoß der Luft. Meſſung der Geſchwindigkeit. Widerſtand der Luft. Anwendung auf die Luftſchifffahrt. Der Fallſchirm 197

Zwanzigſte Vorleſung. Acuſtik. Verſchiedene Worte zur Bezeichnung verſchiedener Arten des Schalles. Ton. Entſtehung des Schalles. Schwingungen der Saiten. Beſtimmung ihrer Schwingungszahlen. Vergleichung mit den Tönen. Monochord. Entſtehung der Dur-Tonleiter. Die Moll-Tonleiter 209

Einundzwanzigſte Vorleſung. Temperatur; ihre Nothwendigkeit. Stöße nahe übereinſtimmender Töne. Combinationstöne. Töne der Sirene und gezähnter Räder. Interferenz von Tönen. Eigenthümliche Entſtehungsarten von Tönen 223

Zweiundzwanzigſte Vorleſung. Transverſal-Schwingungen geſpannter Saiten. Schwingungsknoten. Flageolet-Töne. Schwingungen der Stäbe. Die Eiſenvioline. Strohfiedel. Stimmgabel. Schwingungen der Glocken, der Gläſer, der dünnen Scheiben. Klangfiguren. Regeln um die Klangfiguren gut darzuſtellen und Beſtimmung derſelben in einfachern Fällen. Klangfiguren im Waſſer 233

Dreiundzwanzigſte Vorleſung. Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Geſetze derſelben in Beziehung auf die ungleiche ſpezifiſche Elaſticität. Einfluß der bei der Compreſſion frei werdenden Wärme. Schwächung des Schalles in der Ferne. Sprachrohr. Fortpflanzung des Schalles bei verſchiedener Richtung des Windes, bei Stürmen. Echo. Töne der gedeckten Pfeifen. Verſchiedene Töne, welche dieſelbe Pfeife geben kann. Mittönen von Luftmaſſen 246

Vierundzwanzigſte Vorleſung. Töne der offenen Pfeifen. Fortpflanzung des Schalles in andern Luftarten. Zungenpfeifen. Das Stimm-Organ. Fortpflanzung des Schalles im Waſſer und in feſten Körpern. Längentöne. Mittheilung ſtehender Schwingungen. Reſonanz. Das Gehör-Organ 258

Fünfundzwanzigſte Vorleſung. Cryſtalliſation. Cohäſion und Adhäſion ſtarrer und flüſſiger Körper. Erſcheinungen in den Haarröhrchen. Laplace's Theorie derſelben. Andere Anwendungen dieſer Theorie. Verwandte Erſcheinungen . . 273

Sechsundzwanzigſte Vorleſung. Scheinbare Anziehung und Abſtoßung ſchwimmender Körper. Form der Tropfen. Abmeſſung der Kraft, durch welche feſte Körper von flüſſigen losgeriſſen werden. Schwimmen ſchwerer Körper. Rotation eines befeuchteten Uhrglaſes. Ungleiche Adhäſion verſchiedener Flüſſigkeiten; Bewegungen, die daraus entſtehen. Brown's Beobachtungen. Adhäſion der Luft an feſten Oberflächen. Abſorption von Gaſen durch flüſſige und feſte Körper 286

Siebenundzwanzigſte Vorleſung. Chemiſche Verbindungen; chemiſche Wahlverwandtſchaft. Reagentien, Auflöſungen und Niederſchläge. Einfache Körper, Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff. Eudiometer. Kohlenſtoff, Schwefel, Chlor, Metalle. Zuſammenſetzung der Körper nach feſten Verhältniſſen 298

Achtundzwanzigſte Vorleſung. Das Licht. Gradlinige Fortpflanzung deſſelben. Schatten. Perſpective. Sehewinkel. Optiſche Täuſchung. Bilder der Gegenſtände im dunkeln Zimmer. Geſchwindigkeit des Lichtes. Photometrie. Abhängigkeit der Erleuchtung von der Entfernung und dem Einfallswinkel, ſowie von der Lage der leuchtenden Oberfläche 311

Seite

Neunundzwanzigſte Vorleſung. Zurückwerfung des zerſtreuten Lichtes. Geſetze der Reflexion im ebenen Spiegel. Verbindung zweier Spiegel. Täuſchungen in Beziehung auf die Lage der Bilder. Der Cryſtallwinkelmeſſer. Spiegelſextant. Heliotrop. Helioſtat 326

Dreißigſte Vorleſung. Hohlſpiegel. Anwendung derſelben auf Leuchtthürmen. Brennlinien. Convexe Kugelſpiegel. Cylinderſpiegel. Kegelſpiegel 336

Einunddreißigſte Vorleſung. Brechung der Lichtſtrahlen; ihre Geſetze. Prisma. Beſtimmung des Brechungsverhältniſſes. Vollkommene Zurückwerfung, die ſtatt der Brechung eintritt. Camera lucida. Stärke der Brechung bei unpolirten, unregelmäßigen durchſichtigen Körpern 345

Zweiunddreißigſte Vorleſung. Linſengläſer. Convexe und concave Linſen. Das Auge. Fernſichtigkeit und Nahſichtigkeit. Brillen und Augengläſer. Vergrößerungsgläſer oder einfache Microſcope. Sonnenmicroſcop. Die Zauberlaterne. Grad der Weiße einer Fläche 359

Dreiunddreißigſte Vorleſung. Camera obſcura. Das zuſammengeſetzte Microſcop. Amici's Spiegelmicroſcop. Fernröhre. Lichtſtärke. Raumdurchdringende Kraft. Photometriſche Anwendungen. Micrometer, Heliometer 376

Vierunddreißigſte Vorleſung. Ungleiche Brechbarkeit der Farbenſtrahlen. Newton's Theorie der Farben. Weiß. Ergänzungsfarben. Prismatiſches Sonnenbild. Dunkle Linien in demſelben. Genaue Beſtimmungen für die Brechung. Erſcheinungen im Prisma 393

Fünfunddreißigſte Vorleſung. Ungleiche Brechung der Farbenſtrahlen bei Linſengläſern. Achromatiſche Prismen und Linſen. Farben undurchſichtiger und durchſichtiger Körper 406

Sechsunddreißigſte Vorleſung. Strahlenbrechung in der Luft; wunderbare Erſcheinungen durch dieſelbe. Luftſpiegelung. Funkeln der Sterne. Das Blau des Himmels und die Morgen= und Abendröthe. Dämmerung 419

Siebenunddreißigſte Vorleſung. Theorie des Regenbogens, der Ringe um Sonne und Mond und der Nebenſonnen 429

Achtunddreißigſte Vorleſung. Ueber das Einfachſehen mit zwei Augen und das umgekehrte Bild im Auge. Dauer der Lichteindrücke. Thaumatrop. Stroboſcopiſche Scheiben. Subjective und phyſiologiſche Farben. Farbige Schatten 442

Neununddreißigſte Vorleſung. Die Emiſſionstheorie 451

Vierzigſte Vorleſung. Die Undulationstheorie. Schwierigkeit, die beide Theorien darbieten 461

Einundvierzigſte Vorleſung. Ueber die Farben dünner Blättchen. Newton's Farbenringe. Ausrechnung der entſtehenden Farbenmiſchungen. Seifenblaſen. Anwandelungen des leichtern Durchgangs und der leichtern Zurückwerfung. Beſtimmung der Wellenlänge für jeden Farbenſtrahl. Ueber die natürlichen Farben der Körper 472

Zweiundvierzigſte Vorleſung. Fortpflanzung der Aetherwellen über die Schattengrenze hinaus. Beugung des Lichts. Verſuche im freien Lichte und im dunkeln Zimmer. Erklärung der Beugungs=Erſcheinungen durch die Undulationstheorie. Mittel, um dieſe Erſcheinungen leicht zu beobachten. Inflexioſcop. Interferenz=Erſcheinungen beim Durchgange der Strahlen durch Gitter. Höfe um Sonne, Mond und den eigenen Schatten. Erſcheinung am Regenbogen. Farben durch Zurückwerfung. Fresnel's Verſuch über die Interferenzen 484

Dreiundvierzigſte Vorleſung. Doppelte Brechung. Betrachtung der verſchiedenen Fälle bei Cryſtallen mit einer Axe. Rochon's Micrometer. Brechung durch

Seite

zwei Cryſtalle und Reflexion von der Hinterſeite. Cryſtalle mit zwei Axen. Geometriſche Verſchiedenheit der einfach und doppelt brechenden Cryſtalle. Ungleiche Ausdehnung durch die Wärme. Theoretiſche Erklärungen nach der Emiſſions- und nach der Undulationstheorie 502

Vierundvierzigſte Vorleſung. Polariſation des Lichtes bei der Zurückwerfung von Spiegeln. Fälle, wo der Spiegel kein Licht zurückwirft. Beſtimmung des Polariſationswinkels. Brechungsverhältniß für undurchſichtige Körper. Fälle, wo alles Licht durchgelaſſen wird. Vergleichung mit der Polariſirung durch doppelte Brechung. Biot's Erklärung. Polariſirung im Turmalin. Fresnel's und Cauchy's Theorie 517

Fünfundvierzigſte Vorleſung. Farben-Erſcheinungen in dünnen Gyps-Blättchen, ſowohl bei der Zurückwerfung des polariſirten Strahles als beim Durchgange durch den Doppelſpath. Verſchiedenheit der Farben nach Maaßgabe der Dicke. Bewegliche Polariſation. Oſcillation der Lichttheilchen. Farben zweier Blätter mit gekreuzten Axen. Fresnel's Erklärung aus den Interferenzen 529

Sechsundvierzigſte Vorleſung. Farbenringe in Cryſtallen und in ſchnell gekühlten Glasplatten. Kreisförmige Polariſation und deren Anwendung. Polariſirte Strahlen im Blau des Himmels. Biot's Vorſchlag zur Farbenvergleichung . . 539

Siebenundvierzigſte Vorleſung. Licht-Erzeugung beim Verbrennen und bei andern chemiſchen Proceſſen. Phosphoreſcenz durch Erwärmung, durch Beſtrahlung. Phosphoreſcenz lebender Thiere, der Theile todter Thiere und der Pflanzen. Leuchten des Meeres. Phosphoreſcenz durch Reiben, Zuſammendrückung u. ſ. w. Chemiſche Wirkungen des Lichtes. Daguerre's Lichtbilder. Wirkungen unſichtbarer Lichtſtrahlen 546

Achtundvierzigſte Vorleſung. Wärme und Licht. Wärmeſtoff. Temperatur. Ausdehnung der Körper durch die Wärme. Thermometer. Feſte Punkte des Thermometers. Ungleichförmige Ausdehnung verſchiedener Körper. Ausdehnung feſter Körper. Ausdehnung luftförmiger Körper. Luftthermometer, Differentialthermometer. Pyrometer. Thermometer für die größte und kleinſte Wärme 557

Neunundvierzigſte Vorleſung. Erſcheinungen, die von der Ausdehnung der Körper durch die Wärme abhängen. Compenſationspendel. Unregelmäßigkeit in der Ausdehnung feſter Körper. Temperatur in der Tiefe großer Seen und des Meeres. Waſſerlöcher auf den Alpen. Luftſtrömungen 574

Fünfzigſte Vorleſung. Strahlende Wärme. Zurückwerfung und Brechung derſelben. Brennſpiegel und Brenngläſer. Wärme der einzelnen prismatiſchen Farbenſtrahlen. Schwächung der Wärme beim Durchgang durch andre Körper, beim Durchgang durch mehrere Gläſer. Ungleiche Wärmeſtrahlung bei verſchiedener Beſchaffenheit der Oberfläche. Leslie's Photometer, Aethriometer. Gegenſeitige Erwärmung durch Ausſtrahlung. Anſcheinend ſtrahlende Kälte 583

Einundfunfzigſte Vorleſung. Leitung der Wärme. Leitung im Waſſer. Geſetze der Abkühlung in der Luft. Ungleiche Leitung der Wärme. Fourier's Unterſuchungen über die Fortpflanzung der Wärme. Fälle, wo das Geſetz der Austheilung der Wärme während der Abkühlung daſſelbe bleibt 593

Zweiundfunfzigſte Vorleſung. Beſtimmung der Grade wahrer Wärme-Differenzen. Miſchungen ungleicher Körper. Specifiſche Wärme. Wärmecapacität. Calorimeter. Beſtimmung der ſpecifiſchen Wärme durch die Abkühlungszeiten. Ungleiche ſpecifiſche Wärme der Luft bei ungleicher Dichtigkeit. Pneumatiſches Feuerzeug. Aenderung der Wärmecapacität feſter Körper. Schwierigkeit bei der Beſtimmung höherer Temperaturen. Vergleichung der ſpecifiſchen Wärme mit dem Atomengewichte. Frei werdende Wärme durch Aenderung der Capacität, durch Reiben. Fragen über die Natur der Wärme 607

Seite

Dreiundfunfzigſte Vorleſung. Latente Wärme. Gefrieren. Eiscryſtalle, Schnee. Gewalt der Ausdehnung des Waſſers beim Gefrieren. Polareis, Grundeis. Gletſcher. Schneelinie, Schneelawinen. Kälte hervorbringende Miſchungen. Abſoluter Nullpunkt der Wärme. Schmelzpunkte verſchiedener Körper 622

Vierundfunfzigſte Vorleſung. Entſtehung der Dämpfe. Ihre Elaſticität. Erſcheinungen des Kochens. Grade der Elaſticität bei hohen Temperaturen und der größten Dichtigkeit; — bei geringerer Dichtigkeit, — bei der Miſchung mit der Luft. Dichtigkeit der Dämpfe. Wiefern ſie vom äußern Drucke abhängen kann. Latente Wärme der Dämpfe. Einzelne ſchwierige Erſcheinungen bei der Erhitzung flüſſiger Körper 634

Fünfundfunfzigſte Vorleſung. Anwendung der Dämpfe zum Heizen, zum Kochen u. ſ. w. Deſtillation. Dampfkugel; Aeolipile. Dampfgebläſe. Dampfmaſchine. Ihr Effect nach Pferdekraft beſtimmt. Dampfſchiffe, Dampfwagen, Dampfkanonen. Gefahren bei Anwendung der Dampfmaſchinen. Urſachen des Zerſpringens der Dampfkeſſel. Mittel zur Sicherung 653

Sechsundfunfzigſte Vorleſung. Ausdünſtung und Regen. Hygrometer. Beſtimmung der Feuchtigkeit der Luft durch die Verdunſtungskälte und durch den Condenſationspunkt der Dämpfe. Daniell's Hygrometer. Pſychrometer. Starke Kältegrade durch Verdunſtungskälte. Cryophorus 669

Siebenundfunfzigſte Vorleſung. Nebel und Wolken. Urſachen ihres Entſtehens. Hutton's Theorie des Regens. Der Thau 681

Achtundfunfzigſte Vorleſung. Das Verbrennen. Erhitzung, die zur Entzündung nöthig iſt. Glühlämpchen. Entzündung bei niedrigen Temperaturen. Selbſtentzündung. Entzündung des Waſſerſtoffgaſes durch Berührung des Platinſchwamms. Oefen und Feuerherde. Rauchverzehrende Oefen. Wärme, welche von verſchiedenen Materialien hervorgebracht wird. Löſchen des Feuers 690

Neunundfunfzigſte Vorleſung. Flammen. Lampen. Gaserleuchtung. Davy's Sicherheitslampe. Gebrauch der Flamme vor dem Gebläſe. Knallgasgebläſe. Brewſter's Mittel, große Hitze zu bewirken. Schlußbemerkungen über die Theorie der Wärme 701

Sechzigſte Vorleſung. Erregung der Electricität durch Reibung. Anziehen und Abſtoßen. Leiter und Nichtleiter. Electricität der Metalle. Electroſcope und Electrometer. Verluſt, welchen die electriſirten Körper in der Luft leiden. Entgegengeſetzte Electricitäten. Beim Reiben erhält der eine Körper + E, der andre — E. Reihenfolge der Körper 714

Einundſechzigſte Vorleſung. Electriſirmaſchinen. Verſuche mit denſelben. Entgegengeſetzte Electricitäten am Reibzeuge und am geriebenen Körper. Franklin's Theorie. Dualiſtiſche Theorie. Nähere Beſtimmung der Geſetze der Anziehung und Abſtoßung 730

Zweiundſechzigſte Vorleſung. Electriſche Erſcheinungen durch Vertheilung. Vertheilung der Electricität bei zwei Körpern, die beide geladen ſind, und auf der Oberfläche eines einzigen Leiters. Poiſſon's theoretiſche Unterſuchungen über das Gleichgewicht der Electricität an der Oberfläche der Leiter. Wirkung der Spitzen. Lichtenbergiſche Figuren 743

Dreiundſechzigſte Vorleſung. Die electriſche Flaſche. Metallplatten unter gegenſeitigem Einfluß geladen. Ladung und Entladung der Flaſche. Entladung durch Spitzen und andere Verſuche. Electriſche Batterie. Auslader 758

Vierundſechzigſte Vorleſung. Condenſator. Electrophor. Erfindung und Anwendung deſſelben. Electriſche Lampe 770

Seite

Fünfundſechzigſte Vorleſung. Der electriſche Funke. Electriſches Licht im luftleeren Raume; ſeine verſchiedenen Farben. Electriſcher Geruch. Allgemeiner Auslader. Sehr große Electriſirmaſchine und ihre Wirkung. Entzündungen, Schmelzung und Verbrennung der Metalle. Mechaniſche Wirkungen des electriſchen Schlages. Chemiſche Wirkungen. Entſtehung der Electricität durch Druck; durch Erhärten, Verdampfen und Verbrennen; durch Erwärmung 777

Sechsundſechzigſte Vorleſung. Der Blitz. Blitzableiter. Verhaltungsregeln bei Gewittern. Rückſchläge. Wirkungen des Blitzes. Donner. Die atmoſphäriſche Electricität bei heiterm Himmel. Ueber die Entſtehung der Gewitter. Hagel. Wetterlichter 791

Siebenundſechzigſte Vorleſung. Galvani's Entdeckung neuer electriſcher Erſcheinungen. Volta's Fundamentalverſuch. Reihenfolge der Electromotoren. Wirkung der Leiter der zweiten Art. Verſtärkte Wirkung der zuſammengeſetzten galvaniſchen Kette 803

Achtundſechzigſte Vorleſung. Voltaiſche Säule. Electriſche Spannung in der ungeſchloſſenen Säule. Trockene Säule. Bohnenberger's Electrometer. Trogapparat, Becherapparat. Wirkungen der geſchloſſenen Säule. Conſtante Ketten. Phyſiologiſche Wirkungen. Abhängigkeit derſelben von der Zahl und Größe der Platten und von der Leitung. Electriſche Fiſche 812

Neunundſechzigſte Vorleſung. Chemiſche Wirkungen der Säule. Waſſerzerſetzung, ſelbſt durch die einfache galvaniſche Kette. Sicherung des Kupferbeſchlages der Schiffe. Davy's Unterſuchungen über die Hinüberführung der Stoffe. Galvanoplaſtik. Electrochemiſche Theorie. Nobili's Figuren. Ungleiche Anziehung der poſitiv und negativ geladenen Leiter 828

Siebenzigſte Vorleſung. Chemiſche Wirkungen in der Säule ſelbſt; Abſorption von Sauerſtoffgas. Beantwortung der Einwürfe gegen Volta's Theorie. Orydationstheorie. Säule aus zwei Flüſſigkeiten und einem feſten Körper. Widerſtand der Leitung des Stromes. Veränderter Zuſtand der negativen Platten; Ladungsphänomene. Das Wogen der Kraft in der Kette 847

Einundſiebenzigſte Vorleſung. Funken, Erhitzung, Glühen, Verbrennung durch die voltaiſche Säule. Umſtände, die zu Beförderung dieſer Wirkungen beitragen. Leitungswiderſtand der metalliſchen Schließungsdrähte. Unipolare Leiter; Ohm's Bemerkung über ſie. Electrochemiſche Bewegungen in leitenden Flüſſigkeiten 858

Zweiundſiebenzigſte Vorleſung. Vom Magnete. Anziehende Kraft, Polarität, Mittheilung ſeiner Kraft an Eiſen und Stahl. Anziehung der ungleichnamigen, Abſtoßung der gleichnamigen Pole. Verfertigung künſtlicher Magnete. Magnetnadeln. Beſtimmung ihrer Kraft. Anwendung. Bouſſole oder Compaß. Unterſuchungen über die Kraft der einzelnen Theile des Magnets. Wirkung in die Ferne. Einwirkung weichen Eiſens auf dieſe Wirkungen 867

Dreiundſiebenzigſte Vorleſung. Neigung der Magnetnadel. Aſtatiſche Nadel. Linien gleicher Neigung auf der Erde. Magnetiſcher Aequator der Erde; magnetiſche Pole. Die Erde iſt ſelbſt ein Magnet. Abweichung. Linien gleicher Abweichung. Schwierigkeit bei den Beobachtungen. Intenſität der magnetiſchen Kraft der Erde. Linien gleicher Intenſität 882

Vierundſiebenzigſte Vorleſung. Aenderungen der Abweichung, Neigung und Intenſität, im Laufe der Jahrhunderte, des Jahres, der Tage. Theorie des Erdmagnetismus. Das weiche Eiſen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus. Barlow's Correctionsplatte. Einfluß der Wärme auf den Magnet. Das Nordlicht 894

Fünfundſiebenzigſte Vorleſung. Poiſſon's Theorie. Coulomb's Verſuche über magnetiſche Einwirkung auf andere Körper. Die Bewegung eines Körpers in der Nähe eines Magnets als Urſache magnetiſcher Erſcheinungen. Geſetze des Rotationsmagnetismus. Einfluß der Trennung der Theile auf denſelben . . 911

Seite

Sechsundſiebenzigſte Vorleſung. Magnetiſche Wirkungen der Electricität. Oerſted's Verſuch. Magnetiſche Wirkungen des Schließungsleiters. Ampère's Verſuche über die gegenſeitige Einwirkung electriſcher Ströme. Erklärung der electromagnetiſchen Erſcheinungen nach Ampère. Einwirkung des Erdmagnetismus auf Nadeln, die von electriſchen Strömen umkreiſt werden. Einwirkung des Magnets auf die electriſchen Ströme 921

Siebenundſiebenzigſte Vorleſung. Magnete durch Electricität hervorgebracht. Magnetringe, die ſich erſt nach der Zertheilung magnetiſch zeigen. Electromagnete von ungewöhnlicher Stärke. Schweigger's Multiplicator oder Galvanometer. Meſſung der Kraft der electriſchen Ströme. Beſtimmung der ungleichen Leitung der Electricität in Metallen. Einwirkung der Reibungselectricität auf die Magnetnadel. Der Electromagnetismus als bewegende Kraft. Commutator 932

Achtundſiebenzigſte Vorleſung. Faraday's Entdeckung der electromagnetiſchen Rotationen. Ampère's fernere Unterſuchungen über die Anziehung electriſcher Ströme und die durch bloße electriſche Ströme hervorgebrachten Rotationen. Magnetiſch=electriſche Rotationen. Rotationen durch den Erdmagnetismus. Urſache des Erdmagnetismus. Einwürfe gegen Ampère. Transverſalmagnete in Vergleichung mit dem Leitungsdrahte 944

Neunundſiebenzigſte Vorleſung. Thermomagnetismus. Geſetze ſeiner Wirkung. Anwendung deſſelben auf die Wärmemeſſung. Electriſche Ströme durch die bloße Nähe electriſcher Ströme hervorgebracht. Induction electriſcher Ströme durch Magnetismus. Magnetoelectricität. Beſtätigung der Ampèreſchen Theorie. Inductionsmultiplicator. Magnetiſche Funken. Rotationsmaſchinen. Electriſche Telegraphie 954

Erſte Vorleſung.

Einleitung.

Wenn wir die uns umgebende Natur anblicken, wenn wir die mannigfaltigen Erſcheinungen, welche in unaufhörlichem Wechſel an uns vorübergehen, wahrnehmen, wenn wir darauf achten, wie faſt kein Augenblick unſers Lebens vorbeigeht, der uns nicht zu der Frage auffordert, woher alle dieſe Erſcheinungen entſtehen, welcher Zuſammenhang zwiſchen ihnen ſtatt findet, aus welchen Urſachen ſie hervorgehen: ſo drängt ſich uns gewiß die Ueberzeugung auf, daß die Naturkunde, das iſt diejenige Wiſſenſchaft, welche uns über alle Erſcheinungen der Natur näher unterrichten ſoll, nicht bloß eine unendlich reichhaltige Wiſſenſchaft, ſondern auch eine der wichtigſten und anziehendſten Wiſſenſchaften ſeyn muß. Reichhaltig iſt ſie, weil ſie ja das unermeßliche Gebiet alles deſſen, was die Sinnenwelt uns darbietet, umfaßt, weil ſie in dieſem anſcheinend regelloſen Gewirre unendlich mannigfaltiger Veränderungen Ordnung und Geſetze auffinden ſoll; wichtig, weil ſie uns die Mittel lehren muß, um die Gefahren abzuwenden, mit denen die feindlich uns umgebenden Kräfte der Natur uns bedrohen, weil ſie uns die Regeln angeben muß, wie wir dieſe Naturkräfte zu unſerm Nutzen anwenden können; anziehend, den Geiſt erheiternd und erhebend, weil wir gewiß alle die Beſtimmung in uns fühlen, den Schauplatz, auf welchen eine höhere Weisheit uns geführt hat, kennen zu lernen, an dieſer Kenntniß die uns verliehenen Geiſteskräfte zu üben und zu ſtärken, und durch eine weiſe Herrſchaft über die Natur, ſo weit uns ſie zu erlangen geſtattet iſt, einen wichtigen Theil unſrer irdiſchen Beſtimmung zu erfüllen.

Aber werden wir denn die große Anforderung, die Natur zu durchſchauen, ihre tief verborgenen Geſetze mit unſerm ſchwachen Verſtande zu ergründen, erfüllen können? Wird es uns je gelingen, die unzählbaren Räthſel zu löſen, welche das in ſeiner Größe unermeßliche, in der Verwickelung ſeiner Erſcheinungen immer neue Tiefen darbietende Weltgebäude uns vorlegt? — Dieſe Frage wird zwar niemand mit der kühnen Hoffnung, je die Natur ganz zu ergründen, beantworten; aber wir fühlen die Kraft in uns, immer tiefer

eindringend in die Geſetze der Natur, ein Geheimniß nach dem andern zu durchforſchen, und in der Löſung einer Aufgabe, die allerdings unendlich iſt, immer weiter fortzuſchreiten. Und ſo wollen auch wir den Verſuch wagen, wie weit uns dieſes gelingen mag.

Gegenſtand der Naturlehre.

Ich breche dieſe Vorrede ab, um ſogleich den Gegenſtand, der uns beſchäftigen ſoll, ſelbſt ins Auge zu faſſen. Bei der Betrachtung der uns umgebenden Welt bemerken wir, daß wir auf eine zweifache Weiſe uns mit den Gegenſtänden und Erſcheinungen, welche wir beobachten, bekannt machen können, daß wir nämlich theils die Merkmale, wodurch ein Gegenſtand ſich von dem andern unterſcheidet, auffaſſen müſſen, theils die Veränderungen, die ſich uns zeigen, bemerken und, wie ſie auf einander folgen, beobachten müſſen, um die Urſachen, warum ſie ſo erfolgen, kennen zu lernen. Jenes Beſtreben, die Merkmale, welche den Gegenſtänden dauernd eigen ſind, kennen zu lernen, führt zu derjenigen Wiſſenſchaft, welche wir Naturgeſchichte oder Naturbeſchreibung nennen. Sie hat den Zweck, die gleichartigen oder die einander verwandten Körper im Thierreiche, im Pflanzenreiche und im Mineralreiche kennen zu lehren, ſie in ein Syſtem zu ordnen und dadurch den Beobachter ähnlicher Gegenſtände in den Stand zu ſetzen, dieſen ihren richtigen Ort im Syſteme, das nach gewiſſen Merkmalen claſſificirt, anzuweiſen. Die Zoologie, die Botanik, die Mineralogie beſchäftigen ſich bloß hiemit, und ſofern ſie bloß in dem Bezirke der Naturbeſchreibung bleiben, fragen ſie nicht nach den Urſachen der Veränderungen, welche an den in ihr Gebiet gehörigen Körpern beobachtet werden. Die Naturlehre im engern Sinne dagegen hat den Zweck, die Veränderungen in der Körperwelt aufzufaſſen und die Naturgeſetze, nach welchen ſie erfolgen, aufzuſuchen. Sie umfaßt daher eigentlich ebenſowohl die Erſcheinungen der belebten, als der lebloſen Schöpfung; aber um das immer noch ſehr große Gebiet der Naturlehre etwas enger zu begrenzen, ſondern wir die Aſtronomie, die Phyſiologie und die Chemie als eigne Wiſſenſchaften ab. Die Aſtronomie beſchäftigt ſich mit Allem, was ſich auf die Natur und Bewegung der Geſtirne bezieht, die Phyſiologie mit den Geſetzen, wonach die Erſcheinungen an den belebten Körpern ſich richten, die Chemie mit den Geſetzen, wonach die einfachen Beſtandtheile der Körper ſich untereinander verbinden, ſowie mit der Erforſchung der Natur dieſer einfachen Beſtandtheile ſelbſt und der aus ihnen zu bildenden Verbindungen. Da die Abſonderung dieſer Wiſſenſchaften mehr durch die Reichhaltigkeit ihres urſprünglich gemeinſamen Gebietes, als durch eine innere Verſchiedenheit in der Natur der zu erforſchenden Wahrheiten herbeigeführt worden iſt; ſo darf es nicht überraſchen, daß eine vollkommen ſcharfe Trennung der Gebiete nicht überall möglich iſt, und daß viele Naturgeſetze auf mehreren derſelben eine faſt genau übereinſtimmende Anwendung finden; beſonders aber hängt die Chemie mit der auf dieſe Art beſchränkten Naturlehre oder Phyſik ſo eng

zuſammen, daß jede von beiden zu gehöriger Ausbildung wenigſtens der wichtigſten Lehren der andern nothwendig bedarf.

Die Unterſuchungen, welche der Chemie angehören, beziehen ſich auf die Veränderungen, die in der innern Natur und Zuſammenſetzung der Körper ſtatt finden, und die Bewegung der Theile iſt dabei etwas Unweſentliches; die Unterſuchungen der Phyſik hingegen beſchäftigen ſich entweder mit unmittelbar wahrgenommenen Bewegungen, bei denen dann die Zuſammenſetzung des Körpers, der ſie vollführt, im Allgemeinen gleichgültig iſt, oder ſie beziehen ſich wenigſtens auf Erſcheinungen, die durch Bewegungen verurſacht werden, wenn man auch nicht immer dieſe Bewegungen ſelbſt wahrnimmt. Wie ſich nun dieſe Erſcheinungen an einander reihen, ſoll uns eine wohlgeordnete Beobachtung lehren, und unſer bei jeder Erſcheinung nach der Urſache derſelben fragender Verſtand ſoll aus der Verbindung der Erſcheinungen auf ihre Urſachen, auf ihre nächſten und auf ihre höher hinauf liegenden Grund-Urſachen, ſchließen; auf dieſem Wege ſoll, wenn es möglich iſt, ein Syſtem der Phyſik dargeſtellt werden, welches uns die Anordnung der ganzen Natur überſchauen läßt, welches alle Erſcheinungen auf ihre wahren Urſachen zurückführt, und alle Räthſel löſet, welche ſich uns in der uns umgebenden an Wundern reichen Welt darbieten. — Ich habe wohl nicht nöthig hinzuzuſetzen, daß dieß zwar das Ziel, aber auch das unerreichbare Ziel unſrer Beſtrebungen iſt; daß wir zwar Gelegenheit genug finden, uns des glücklichen Erfolges der Unterſuchungen zu erfreuen, die wir beendiget vor uns ſehen, ja daß wir Grund genug finden, zu erſtaunen über den ſchon erlangten Reichthum tief eindringender Aufſchlüſſe über die Geſetze der Natur-Erſcheinungen; daß aber dennoch die unermeßlich reiche Natur uns immer noch zu dem Bekenntniſſe zwingt, und gewiß unſre ſpäteſten Nachkommen zu dem Bekenntniſſe zwingen wird, daß wir nur das Wenigſte erkennen, und viel Größeres uns noch verborgen bleibt.

Richtige Anordnung der Naturforſchung.

Auf welchem Wege gelangen wir denn zur Kenntniß der Naturgeſetze? — das iſt wohl die Frage, welche ſich uns nun zuerſt darbietet. Man hat oft die Hoffnung ausgeſprochen, daß eine Naturphiloſophie, gegründet auf eine Reihe wohl geordneter Schlüſſe, uns tief in das innere Weſen der Dinge hinein führen könne; aber, obgleich es wahr iſt, wie ich bald zeigen werde, daß wir einige Eigenſchaften der Materie als nothwendig anerkennen, und, daß ſich ſo einige Grundzüge naturwiſſenſchaftlicher Kenntniſſe a priori entwickeln laſſen, ſo iſt es doch ohne allen Zweifel auch wahr, daß der Umfang dieſer nützlichen Naturphiloſophie in ſehr enge Grenzen eingeſchloſſen iſt, und daß ſie uns gänzlich verläßt, wo es auf einzelne Erſcheinungen und ihre Erklärung ankommt. Die Erfahrung kann allein hier unſre Leiterin ſeyn, und die Kunſt, Erfahrungen zu ſammeln und an einander zu reihen, iſt die eigentliche Kunſt des Phyſikers. Auf dieſe Kunſt deuten wir ſchon hin, wenn wir vom Beobachten reden. Das Heer der Erſcheinungen bietet ſich

jedem Auge dar, und wer nicht allzu ſtumpfſinnig die wechſelnden Erſcheinungen an ſich vorübergehen läſſet, der nimmt auch dieſe Phänomene wahr; aber wir ſagen erſt dann, daß er ſie beobachte, wenn er auf jedes Einzelne in der Erſcheinung merkt, wenn er mit Ueberlegung auf den Gang der Erſcheinungen achtet und aus dem Gewirre mannigfaltiger Ereigniſſe das, was mit einander in Verbindung ſteht oder zu ſtehen ſcheint, geordnet auffaßt. Unſre Geiſtes-Anlagen nöthigen uns, überall eine Verbindung von Urſache und Wirkung aufzuſuchen, und der Beobachter der Naturphänomene fühlt ſich daher ſogleich zu der Frage veranlaßt, ob unter zwei auf einander folgenden Erſcheinungen die eine als Urſache der andern anzuſehen ſey. Um dieſe Frage zu entſcheiden, muß er ſich in den meiſten Fällen an die Erfahrung wenden, und jener vermuthete Zuſammenhang dient daher ſeiner Aufmerkſamkeit zur Leitung; er achtet darauf, ob jene zwei Erſcheinungen immer ſo verbunden vorkommen, und erſt, wenn er dieß durch wiederholte Beobachtung beſtätigt findet, hält er ſich berechtiget, in der einen die nächſte Urſache der andern anzuerkennen. Da faſt keine Erſcheinung ſich wiederholt ganz auf dieſelbe Weiſe zuträgt, ſondern oft Nebenumſtände Verſchiedenheiten hervorbringen, ſo führt gewöhnlich eine wiederholte Beobachtung zur Kenntniß dieſer Nebenumſtände, und lehrt uns eben dadurch die weſentliche Urſache um ſo ſicherer und genauer kennen, wenn wir ſie bei allen den, in andrer Hinſicht abgeänderten Umſtänden wieder finden. So kann ſelbſt bloße Beobachtung uns zu der Kenntniß der nächſten Urſache einer Erſcheinung führen; aber dieſe Kenntniß wird noch ſicherer beſtätigt, wenn es uns gelingt, eben die Erſcheinung durch einen Verſuch, durch ein Experiment, hervorzubringen. Bei dem Verſuche bringen wir die Umſtände ſelbſt hervor, durch welche, unſrer Meinung nach, jene Erſcheinung bewirkt werden ſoll, und der Verſuch beſtätigt unſre Meinung, wenn er immer bei richtiger Anordnung eben den Erfolg giebt. Der Verſuch lehrt gewöhnlich dann noch mehr; denn entweder tritt durch Zufall einmal eine kleine Abänderung der Umſtände ein, welche zum Gelingen des Verſuches erfordert werden, und wir erlangen dadurch Belehrung über die Urſache ſeines Mißlingens, oder wir ändern abſichtlich die Umſtände ab, um uns über die Verſchiedenheiten des Erfolges zu belehren. In dieſer mit beſtimmter Abſicht angeordneten Abänderung zeigt ſich oft der Scharfſinn des Phyſikers in ſeinem ſchönſten Lichte, wenn er die Ungleichheit der Erfolge vorausſieht, welche aus jenen Abänderungen wahrſcheinlich hervorgehen müſſen, und die Entwickelung der einzelnen Lehren wird uns Beiſpiele genug liefern, welche zeigen, wie eine Reihe von Erſcheinungen neu entdeckt wurde, indem man die erſten Verſuche, welche die Anleitung dazu gaben, geſchickt verändert fortführte.

Wenn ein Stückchen Kreide in ein Gefäß mit hinreichend ſtarker Säure fällt, ſo verſchwindet in Kurzem die Kreide, wir ſagen, ſie wird aufgelöſt, dieß iſt eine Beobachtung; wenn wir aber nun abſichtlich ein Stück Kreide in eben ſolche Säure legen, um zu ſehen, ob es immer ſo erfolgt, wenn wir

eben die Kreide etwa in ſehr verdünnte Säure legen, um die Grenzen dieſer Auflöſungskraft zu beſtimmen, wenn wir andre Körper ſtatt der Kreide in eben die Säure legen oder andre Arten von Säuren nehmen, ſo ſtellen wir ſchon eine ganze Reihe von Verſuchen an. Bemühen wir uns nun ſogar, die Natur der Luftblaſen, die ſich uns bei dem Aufſchäumen der Auflöſung zeigen, zu beſtimmen, finden wir Mittel, die ſo entwickelte Luft aufzufangen, gelangen wir zu der Kenntniß, daß dieſe Luftart ganz andere Eigenſchaften als die uns umgebende atmoſphäriſche Luft beſitzt, ſo haben wir an jene unbedeutende Erfahrung eine Reihe wichtiger Erſcheinungen angeknüpft.

Eine ſolche Anordnung von Beobachtungen und Verſuchen kann in vielen Fällen ſchon dienen, um zu einer ſehr genügenden Einſicht in die Geſetze der Erſcheinungen zu gelangen; aber ſehr oft iſt es uns auch geſtattet, noch tiefer einzudringen. Viele Wirkungen, welche wir wahrnehmen, ſind einer Abmeſſung fähig, und in den Fällen, wo dieß ſtattfindet, kann man mit Hülfe der Mathematik dahin gelangen, aus dem Maaße der wirkenden Kräfte den Erfolg in genauen Zahlen zu berechnen, es ſey nun, daß man jenes Maaß der wirkenden Kräfte ſchon als ſicher bekannt annehmen oder nur als hypothetiſch gegeben anſehen kann; und wir halten unſre Erklärung der Natur-Erſcheinungen erſt da für recht vollendet, wo ſie uns dahin führt, nach Zahl und Maaß genau den Erfolg jedes Mal beſtimmen zu können. Gewöhnlich gehen wir, gerade bei dieſer Art von Beſtimmung, von Hypotheſen aus, und es iſt daher hier der Ort, die Wichtigkeit, ja die Nothwendigkeit der Einführung von Hypotheſen in die Phyſik zu erklären. So bedenklich man es gewöhnlich zu finden pflegt, wenn man Hypotheſen zur Erklärung einer Naturerſcheinung anwendet, und ſo oft allerdings durch den Mißbrauch der Hypotheſen dem Fortſchreiten richtiger Kenntniſſe geſchadet worden iſt, ſo läßt es ſich doch auch von der andern Seite nicht leugnen, daß wir faſt zu keiner Kenntniß gelangen, ohne eine Hypotheſe aufzuwerfen. Wenn wir bei Nacht eine Gegend des Horizontes ſich erhellen ſehen, ſo fragen wir: kann denn der Mond dort aufgehen? — Dieſe Frage iſt eine Hypotheſe, deren Richtigkeit oder Unrichtigkeit ſich freilich ſehr bald entſcheiden läßt. Aber ebenſo fragen wir, wenn der Blitz ein Haus getroffen hat und ohne zu zünden zur Erde herabgelaufen iſt, ob dieß an der Natur gerade dieſes Blitzes lag, ob es ein kalter Schlag war, oder ob er durch Umſtände, die in der Beſchaffenheit des Hauſes lagen, ohne großen Schaden herabfuhr; und wenn wir durch Vergleichung mehrerer Erfahrungen finden, daß der Blitz da, wo er eine Metallleitung findet, ohne das Gebäude zu beſchädigen, zur Erde gelangt, ſo geben wir die Hypotheſe von dem Unterſchiede warmer und kalter Schläge auf, und finden dagegen die andre Hypotheſe, daß es in der Beſchaffenheit der getroffenen Körper liege, wenn der Blitz ohne zu zünden fortgeht, deutlich beſtätiget. Auf ähnliche Weiſe ſind wir bei jedem uns neuen Phänomene, auch in dem regelmäßigen Gange der Naturforſchung, veranlaßt, zu fragen, ob dieß nicht von dieſem oder jenem beſtimmten Umſtande abhänge, und eben damit haben wir ſchon eine

Hypotheſe aufgeworfen. Die Pflicht des Naturforſchers iſt es nun, zunächſt zu ſehen, ob die Erſcheinung ſich immer an die hypothetiſch angenommene Urſache anſchließe, zu unterſuchen, nach welchen Geſetzen dieſe Urſache wirkt, und die hypothetiſch angenommenen oder nach Wahrſcheinlichkeit vermutheten Geſetze mit dem zu vergleichen, was die Erfahrung ergiebt. Sind die Geſetze dieſer Wirkungen einfach, und findet man die Erfolge der Erfahrung entſprechend, ſo kann man die aufgeſtellte Hypotheſe als richtig anſehen; muß man dagegen künſtlich verwickelte Geſetze ausdenken, um hier der einen, dort der andern Erfahrung Genüge zu thun, die ſich den einfachern Geſetzen nicht ganz gemäß zeigt, ſo hat man Grund, die Hypotheſe mit Mißtrauen anzuſehen. Ein Beiſpiel hiezu giebt des Copernicus Hypotheſe, daß die Erde um die Sonne laufe. Aus ihr ließen ſich alle rechtläufige und rückläufige Bewegungen der Planeten, als aus bloßem Scheine entſpringend und ganz entſprechend der relativen Bewegung gegen die bewegte Erde, erklären, ſtatt daß die ältere Hypotheſe, daß die Erde ruhe, zu der Vorausſetzung, daß die Planeten in ſehr verſchlungenen Bahnen laufen müßten, führte. Dieſe Hypotheſen ſind nicht ſelten von der Art, daß ſich an ſie ſtrenge rechnende Beſtimmungen knüpfen laſſen, und in dieſem Falle läßt ſich zu einer vollkommenen Entſcheidung über ihre Richtigkeit gelangen; denn wenn die Erfolge nicht bloß obenhin ſo ſind, wie die Hypotheſe ſie erwarten läßt, ſondern die Erſcheinungen genau in dem Maaße, zu der richtigen Zeit eintreffen, wie ſie eintreffen ſollten, ſo kann man, je ſchärfer dieß der Fall iſt, deſto ſicherer, die Wahrheit der Hypotheſe als entſchieden anſehen. Das glänzendſte Beiſpiel einer ſolchen durch die mathematiſche Berechnung bewährten Hypotheſe ſtellt uns Newton's Attractionslehre dar, indem die nach ihr berechneten Bewegungen der Planeten jeder Beobachtung derſelben ſo genau entſprechen, daß die Vorherbeſtimmung aller Erſcheinungen mit der größten Genauigkeit zutrifft, und dieſes Zutreffen ſtatt findet, ohne daß es einer Hülfshypotheſe oder irgend einer für einen Planeten ſo, für den andern Planeten anders beſtimmten Correction bedarf. Und ſo wie ſich hier eine Hypotheſe, als ein großes Ganzes von Erſcheinungen umfaſſend, bewährt hat, ſo haben ſich auch manche andre Hypotheſen, mehr oder minder fruchtbar in dem Umfange ihrer Anwendungen, als wahr und als zu Erklärung ganzer Reihen von Erſcheinungen zureichend gezeigt. Die Gefahr, durch falſche Hypotheſen irre geführt zu werden, läßt ſich durch aufrichtige Wahrheitsliebe und durch aufmerkſames Beachten aller Umſtände zwar nicht unbedingt vermeiden, aber doch in hohem Grade vermindern. Wenn man mit möglichſter Strenge die Folgerungen entwickelt, zu denen die Hypotheſe führt, und mit unbefangener Achtſamkeit die Erſcheinungen, die ſich wirklich zeigen, damit vergleicht, ſo darf man hoffen, daß der Irrthum, zu dem eine falſche Hypotheſe verleiten könnte, nicht lange unentdeckt bleiben kann, und es verſteht ſich, daß man ſich nicht durch Vorliebe für eine einmal gefaßte Meinung blenden laſſen darf, und daß man ſich hüten muß, einer Hypotheſe noch Vertrauen zu ſchenken, die ſich nicht als wahr bewährt.

Einzelne Hauptgegenſtände der Phyſik.

Dieſe Bemerkungen über die Art, wie die Naturforſchung getrieben werden muß, wie wir Naturgeſetze entdecken und ihre Richtigkeit beſtätigen können, werden bald durch die Anwendung noch deutlicher werden. Ueber die verſchiedenen Gegenſtände, die ſich in der Naturlehre unſrer Unterſuchung darbieten, und die daraus hervorgehenden einzelnen Zweige der Phyſik iſt es ſchwerer, hier ſchon etwas ganz Genügendes anzugeben. Die Frage, was denn die Materie ſey, oder was den Stoff zu allen unſern ſinnlichen Wahrnehmungen liefere, und welche nothwendige oder zufällige Eigenſchaften die Materie beſitze, iſt die erſte, wozu wir uns hingezogen finden. Die Bewegung, deren Geſetze wir, als nothwendig, aus mathematiſchen Betrachtungen herleiten können, bietet uns durch die mannigfaltigſten Anwendungen auf einzelne Erſcheinungen einen reichhaltigen Stoff zu Unterſuchungen dar, und da dieſe Geſetze ſich nach der Beſchaffenheit der Körper, auf welche ſie angewandt werden ſollen, modificiren müſſen; ſo theilt man die Lehre von der Bewegung (Mechanik) ein in die Mechanik feſter Körper, in die Mechanik flüſſiger Körper (Hydraulik) und in die Mechanik luftförmiger Körper (Pneumatik), von welchen nahe verwandten Wiſſenſchaften ich die Unterabtheilungen Statik und Dynamik, Hydroſtatik und Hydrodynamik, Aeroſtatik und Aerodynamik vorläufig wenigſtens erwähnen will.[1] Noch muß man zu den Zweigen der Phyſik, welche ſich mit den der Schwerkraft unterworfenen Stoffen (Ponderabilien) beſchäftigen, die Lehre vom Schalle (Akuſtik) und die Lehre von den in der Atmoſphäre ſtatt findenden Erſcheinungen (Meteorologie) rechnen, wiewohl die letztere nothwendig faſt in alle Zweige der Phyſik eingreift, und darum entweder ganz abgeſondert, oder, wo der Zuſammenhang mit verwandten Gegenſtänden es erlaubt, gelegentlich abgehandelt werden muß. Die übrigen Lehren der Phyſik, welche ſich mit den nicht der Schwerkraft unterworfenen Stoffen (Inponderabilien) beſchäftigen, laſſen ſich endlich in vier Haupt-Abtheilungen bringen, da die Erfahrungen darauf geleitet haben, die Erſcheinungen, welche das Licht, die Wärme, die Electricität und der Magnetismus darſtellen, zu unterſuchen und ihre Geſetze zu erforſchen.

Anordnung des Vortrags. — Nutzen des Studiums der Phyſik.

Um dieſe verſchiedenen Lehren vollſtändig und gründlich darzuſtellen, würde es nun freilich der Mathematik bedürfen; aber da es Ihr Zweck nicht iſt, den ganzen Reichthum ſchöner, aber zum Theil tiefſinniger und ſchwieriger Betrachtungen vollſtändig kennen zu lernen, den eine ſo tief eindringende Darſtellung der Phyſik liefert, ſo werde ich mich hier begnügen, nur die Reſultate jener Unterſuchungen darzulegen, und ich hoffe Ihnen zu zeigen, daß dieſe ſich mit Ueberzeugung überſehen laſſen, daß man die Gründe, warum es ſo

[1] Bisweilen werden die Namen Mechanik für Dynamik und Pneumatik für Aerodynamik gebraucht, wo man dann, um Aeroſtatik und Pneumatik zuſammenzufaſſen, noch den nicht ſehr paſſenden Namen Aerometrie eingeführt hat.

iſt, deutlich machen kann, wenn man theils die Verſuche, welche die wichtigſten Erſcheinungen darſtellen, vor Augen hat, theils die daran geknüpften Schlüſſe auf eine Weiſe, die auch dem Nichtmathematiker vollkommen verſtändlich iſt, entwickelt. Da die Experimentalphyſik den Hauptgegenſtand dieſer Vorleſungen ausmachen ſoll, ſo wird es mein Beſtreben ſeyn, Ihnen die Erfahrungen und Verſuche vollſtändig und deutlich zu erklären, die entweder den weitern Schlüſſen zur Grundlage dienen, oder ſich an dieſe als Beſtätigung anſchließen; ich werde ſuchen, das ganze Syſtem der Phyſik gleichſam aus Verſuchen aufzubauen. Daneben aber werde ich, theils aus den Anwendungen der Phyſik auf die Gegenſtände des gemeinen Lebens und auf die Künſte und Gewerbe, theils aus der Meteorologie, phyſiſchen Geographie und Aſtronomie, Ihnen das Wichtigſte mittheilen, um, ſo weit es unſre Kenntniſſe erlauben, Ihnen zu zeigen, wie die wichtigſten und größten Naturereigniſſe mit den Geſetzen zuſammenhängen, die wir aus unſern Verſuchen ableiten.

Es iſt wohl nicht nöthig, über den Nutzen, den wir uns von dieſer Erforſchung der Natur verſprechen dürfen, umſtändlich zu reden. Wäre es auch bloß die Befriedigung des Bedürfniſſes, ſich über alles, was uns umgiebt, zu belehren, eines Bedürfniſſes, das jeder denkende Menſch um ſo mehr empfindet, je mehr er ſeine Geiſteskräfte ausbildet, ſo würde ſchon darin Aufforderung genug liegen, uns mit der Naturkunde zu beſchäftigen. Wohin wir unſer Auge wenden, da bieten ſich uns Erſcheinungen dar, die wir in ihrem Zuſammenhange zu überſehen wünſchen, die unſern Scharfſinn, um ſie zu erklären, und unſre Aufmerkſamkeit, um ſie zu benutzen oder den Nachtheilen, welche ſie drohen, zu entgehen, auffordern, und die Naturkunde iſt es, die uns Belehrung über ſie gewährt. Aber auch die unzähligen Vortheile, welche Künſte und Gewerbe aus der Phyſik gezogen haben und noch mehr ziehen können, verdienen unſre Aufmerkſamkeit, und verdienen dieſe oft eben ſo ſehr um des Scharfſinnes willen, der ſich bei dieſen Anwendungen gezeigt hat, als um des Nutzens willen, den ſie gewähren. Endlich führt uns auch das Studium der Phyſik zu einer eigenthümlichen Ausbildung unſerer Geiſteskräfte; denn ſo wie die Mathematik uns an Gründlichkeit und Strenge in den Schlüſſen gewöhnt und uns zeigt, was denn eigentlich mit Sicherheit wahr und gewiß heißen kann, wie die Botanik uns gewöhnt, mit Schärfe die äußern Merkmale der Gegenſtände wahrzunehmen und diejenigen Kennzeichen aufzuſuchen, wodurch ſich die einzelnen Pflanzen von einander unterſcheiden und wonach ſie im Syſteme aufgefunden werden können, ſo führt uns die Phyſik zur Kunſt des Beobachtens, indem ſie uns Beiſpiele zeigt, wie man durch richtiges Auffaſſen der Erſcheinungen die wahrhaft wirkſamen Urſachen von dem bloß Zufälligen unterſcheidet, wie man durch Abänderung der Umſtände die Geſetze der Wirkungen erforſcht, wie man oft mit Wahrſcheinlichkeit vorausſehen kann, welche Anordnung von Verſuchen zu ganz neuen Aufſchlüſſen führen kann, und ſo weiter; und dieſer Kunſt des Beobachtens bedürfen wir auch bei den gewöhnlichſten Ereigniſſen.

Doch es iſt Zeit, daß ich dieſe Einleitung ſchließe, um zu dem Gegenſtande unſrer Unterhaltungen ſelbſt überzugehen.

Zweite Vorleſung.

Allgemeine Eigenſchaften der Materie. — Geſtalt. Undurchdringlichkeit.

Da die Erſcheinungen in der Sinnenwelt im Allgemeinen der Gegenſtand der Phyſik ſind, ſo fragen wir wohl zuerſt nach dem Weſen des Stoffes, der bei allem Wechſel der Erſcheinungen als das Beharrliche zum Grunde liegt, nach den Eigenſchaften der Materie oder der Körper im Allgemeinen. Da alles, was wir erkennen können, im Raume iſt, einen Ort einnehmen, eine Geſtalt haben muß, ſo ſehen wir es mit Recht als eine nothwendige Eigenſchaft der Körper an, daß ſie irgend eine Form beſitzen, und ſelbſt da, wo unſre Sinne uns nicht mehr geſtatten, die materiellen Theile wahrzunehmen, können wir uns nicht enthalten, ihnen vermuthungsweiſe eine Form, eine gewiſſe Lage im Raume beizulegen. Aber ſtatt daß die mathematiſche Betrachtung des Körpers allein bei ſeiner Geſtalt und Größe ſtehen bleibt, ſtatt daß der Raum keine andre Eigenſchaften, als die der Größe und Geſtalt beſitzt, legen wir ſogleich der Materie noch die zweite Eigenſchaft bei, den Raum auszufüllen. In dem Punkte des Raumes, in welchem ſich ſchon Materie befindet, kann kein andrer phyſiſcher Körper zugleich auch vorhanden ſeyn; der eine verdrängt entweder den andern aus ſeiner Stelle, oder jener hindert dieſen, den Platz einzunehmen, den er einzunehmen im Begriff war. Wir nennen dieſes die Undurchdringlichkeit der Materie oder des phyſiſchen Körpers, und ſehen auch dieſe als eine nothwendige Eigenſchaft der Körper an, um ſo mehr, da ſie ſich bei allen Körpern, die ſich unſerer ſinnlichen Wahrnehmung unmittelbar darbieten, deutlich zeigt.

Dringt gleich das Waſſer in die Zwiſchenräume des Holzes, des Papieres ein, ſo thut es das doch nur in ſo fern, als dieſe Zwiſchenräume nicht ausgefüllt ſind, oder als die in ihnen enthaltene Luft den von ihr eingenommenen Platz verläßt, und wir ſehen dieſe in Form von Blaſen entweichen, wenn ſie aus ihrem Platze fortgetrieben wird. Selbſt die Luft iſt alſo undurchdringlich, ſie geſtattet da, wo ihr kein Ausgang gelaſſen iſt, nicht den Zutritt eines andern Körpers, welches man noch dadurch zu zeigen pflegt, daß man ein mit Luft gefülltes Glas mit der ins Waſſer getauchten Mündung in die Waſſermaſſe hinabdrückt, und wahrnehmen läßt, daß das Waſſer nicht den Raum ausfüllt, den es einnehmen würde, wenn man die Luft entweichen ließe.

Theilbarkeit.

Eine dritte Eigenſchaft legen wir der Materie als nothwendige Eigenſchaft bei, die Theilbarkeit. Nicht bloß in der Vorſtellung können wir uns den

Körper als in Theile zerlegt denken, ſondern er geſtattet auch phyſiſch eine Zertheilung, und die Mittel, die uns in der Erfahrung hiezu dargeboten werden, ſind mannigfaltig und größtentheils bekannt. Am merkwürdigſten iſt die ſehr feine Zertheilung, die bei Miſchung flüſſiger Körper ſtatt findet, und die ſich durch chemiſche Veränderungen ſehr deutlich darthut. Die chemiſchen Reagentien, das iſt diejenigen Stoffe, welche das Vorhandenſeyn eines beſtimmten Körpers in einer Auflöſung zeigen, geben Beiſpiele hiezu. So iſt die Galläpfeltinctur ein vorzügliches Mittel, die Gegenwart des Eiſens zu erkennen, indem ein Tropfen jener Tinctur, ſelbſt in einer ſehr verdünnten Eiſen-Auflöſung, eine Schwärzung hervorbringt. Eine eben ſolche auf Eiſen reagirende Subſtanz iſt die Blutlauge.[1] Ein Gran[2] derſelben färbt 17 Pfund oder $1/4$ Cubikfuß[3] Eiſen-Auflöſung merklich blau; wenn man nun bedenkt, daß eine Maſſe von mehr als 700,000 Cubiklinien hier eine Färbung erhält, daß das Auge noch Zehntel der Linie, alſo Tauſendtel der Cubiklinie, deutlich erkennt, ſo kann man den Gran als in jedem der 700 Millionen ſichtbarer Theilchen ſeine Wirkung zeigend anſehen. Aehnliche Beiſpiele geben die practiſch anwendbaren Färbemittel. *Venturi* bemerkt, daß man mit 1 Unze Cochenille 10 Unzen Seide ſtark genug gefärbt erhält. Aber die ſo gefärbten 10 Unzen Seidenfäden waren 145,000 Fuß lang und die mikroſkopiſche Unterſuchung zeigte in jedem Faden 50 Coconfäden, deren geſammte Länge alſo 7,250,000 Fuß betrug. Jeder dieſer Fäden zeigte ſich unter dem Mikroſkop roth gefärbt, und wenn man alſo annimmt, daß in jedem Fuße auch nur 2000 Theile ſichtbar wurden, ſo konnte man 14,500 Millionen ſichtbare Theile als wirklich gefärbt wahrnehmen. Welche zarte Bildungen die Natur uns, beſonders in den organiſchen Körpern zeigt, wie in den Infuſionsthierchen, deren Durchmeſſer nur den zweitauſendſten Theil einer Linie beträgt, noch Theile zur Unterhaltung der Lebensfunctionen wahrgenommen werden, die nicht größer als $1/48000$ Linie im Durchmeſſer ſeyn können, haben Ehrenberg's Beobachtungen dargethan;[4] ja ſichere Schlüſſe thun ſogar das Vorhandenſeyn von

[1] Cyankali in kaltem Waſſer aufgelöſt.

[2] Das preußiſche Medicinalpfund wird eingetheilt in 12 Unzen, die Unze in 8 Drachmen, die Drachme in 3 Skrupel, der Skrupel in 20 Gran. Da 1 Pfund Medic. Gewicht gleich $3/4$ Pfund Handelsgewicht iſt, ſo iſt eine Unze ſo viel als 2 Loth, eine Drachme ſo viel als ein Quentchen.

[3] Ein Cubikfuß iſt der körperliche Raum von 1 Fuß lang, 1 Fuß breit, 1 Fuß hoch. Da 1 Fuß 12 Zolle enthält, ſo hat der Quadratfuß, d. i. eine Fläche von 1 Fuß lang und 1 Fuß breit, 144 Quadratzoll, und der Cubikfuß $12 . 144 = 1728$ Cubikzoll. Ebenſo hat der Längenzoll 12 Linien, der Quadratzoll 144 Quadratlinien, der Cubikzoll 1728 Cubiklinien, alſo der Cubikfuß $1728 . 1728 = 2985984$ (beinahe 3 Millionen) Cubiklinien.

[4] Um von der unermeßlichen Anzahl, in der ſolche Infuſionsthierchen vorhanden ſeyn müſſen, und von ihrer Wichtigkeit im Haushalte der Natur eine Vorſtellung zu geben, verdient angeführt zu werden, daß nach Ehrenberg's mikroſkopiſchen Unterſuchungen nicht allein in jedem Tropfen ſtehenden Waſſers ſich unzählige befinden, ſondern daß viele ausgedehnte Schichten der Erdoberfläche aus weiter nichts als den übrig gebliebenen Schalen von unzähligen geweſenen Generationen ſolcher Thiere beſtehen, nnd daß unter andern manche Straßen Berlins auf einem Boden gegründet ſind, deſſen oberſte Schicht dem größeren Theile der Maſſe nach aus meiſtens noch lebenden Infuſionsthierchen gebildet iſt.

Theilen dar, deren Durchmeſſer nur $1/6000000$ einer Linie iſt, und die darum direct nicht wahrgenommen werden.

Aber ſelbſt die Kunſt iſt im Stande, uns Beiſpiele von ungemein feiner Theilung zu liefern. Die Kunſt, feine Linien auf Glas oder Metall einzuſchneiden und dieſe mit Hülfe einer ganz genau gleich fortrückenden Schraube ſo regelmäßig an einander zu zeichnen, daß die Eintheilung vollkommen gleichmäßig iſt, hat beſonders Fraunhofer ſo weit getrieben, daß er die Theilung eines Zolles in Zehntauſendtel als ganz genau, und die Theilung des Zolles in 32000 Theile als nur ſehr wenig von der völligen Gleichheit abweichend anſieht. Eine ähnliche Feinheit liefert die Kunſt des Drathziehens, wenn man ſie nach Wollaſton's Anleitung auf Gold und Platina von Silber umgeben anwendet. Die Drathzieher dehnen einen Silbercylinder von 22 Zoll Länge, nach Reaumur's Bemerkung, in einen Drath von 110 franzöſiſchen Meilen, das iſt, beinahe 16 Millionen Zoll aus, alſo zur 720,000 maligen Länge, indem ſie ihn nach und nach durch immer engere Löcher ziehen. Bohrt man nun in der Axe eines ſolchen Silbercylinders ein Loch, das genau den zehnten Theil des Durchmeſſers hält, und füllt dieſes mit Gold oder Platina aus, ſo dehnt ſich beim Drathziehen der den innern Kern des Cylinders ausmachende Körper mit dem Silber aus, und man kann auf dieſe Weiſe Golddrath erhalten, von welchem 500 Fuß nur 1 Gran wiegen. Berechnet man hieraus den Durchmeſſer des Drathes, ſo findet man ihn ungefähr = $1/5400$ Zoll, und dieß ſtimmt mit Wollaſton's Angabe überein, der den Silberdrath als bis zu $1/500$ Zoll Dicke ausgezogen angiebt, wo dann der nur den zehnten Theil ſo dicke Gold- oder Platinadrath nur $1/5000$ Zoll dick ſeyn würde. Da der ſo gezogene Drath ſeinen Silber-Ueberzug behält, ſo muß man ihn davon durch Salpeterſäure, welche das Silber auflöſt, befreien, und erhält dann einen ſo feinen Drath, daß man ihn mit bloßem Auge nicht mehr wahrnehmen kann, weshalb man ihm gern an den Enden den Silber-Ueberzug läßt, um ihn bequemer halten und behandeln zu können. [1]

Obgleich die Theilbarkeit der Körper ohne Zweifel weiter geht als unſre

[1] Am weiteſten ſcheint die feine Vertheilung bei den ſtark riechenden Körpern ſich nachweiſen zu laſſen, von welchen ein einziger Gran hinreicht, um ſehr große Räume mit dem Geruche zu erfüllen; aber immer bleiben dieſe Theilungen doch weit hinter dem zurück, wovon man in der neueren Zeit bei den Doſen von Arzneimitteln geredet hat. Um von 1 Quintilliontel Gran einen Begriff zu erhalten (denn ſo wenig beträgt häufig eine ſolche Doſis), muß man erwägen, daß die 6000jährige Dauer der Menſchengeſchichte 2191500 Tage oder 52596000 Stunden, wofür ich 53 Millionen Stunden ſetzen will, beträgt. Die Weltgeſchichte umfaßt alſo nur etwa 190000 Millionen Sekunden. Wäre nun die Erde dieſe ganze Zeit durch mit 1000 Millionen Menſchen in jedem Zeitpunkte bevölkert geweſen, und hätte jeder derſelben alle Sekunden eine Doſis eben des Arzneimittels genommen, ſo wären 190 Trillionen oder ungefähr 200 Trillionen ſolcher Doſen verbraucht worden. Wenn demnach ein Arzt ſeit Adam's Zeiten allen lebenden Menſchen jede Sekunde ein Quintilliontel Gran irgend eines Arzneimittels gegeben hätte, ſo wäre dennoch der ganze Verbrauch noch nicht ein Tauſendtel vom Milliontel eines Granes. — Um einen einzigen Tropfen einer Auflöſung nicht durch wiederholte Verdünnung, ſondern auf einmal durch Vermiſchung mit einer großen Waſſermaſſe ſo zu zertheilen, daß jeder Tropfen der Verdünnung ein Oktilliontel des Tropfens der Auflöſung enthielte, würde eine Waſſermaſſe von Kugelform nur eben ausreichend ſeyn, die groß genug wäre, um alle Planetenbahnen gerade zu umſchließen.

Nachweiſungen derſelben reichen, ſo können wir doch nicht annehmen, daß ſie bis ins Unendliche gehe, und werden alſo zu der Frage gedrängt, wodurch denn endlich derſelben ein Ziel geſteckt werden könne. Die Unmöglichkeit weiterer Theilung kann aber entweder dadurch bedingt werden, daß die letzten Beſtandtheile, die Atome des Körpers zu klein, oder dadurch, daß ſie zu feſt ſind, um eine weitere Theilung zu geſtatten; im erſten Falle müßten alſo die Atome wirkliche Punkte, im zweiten Falle müßten ſie abſolut feſt ſeyn, könnten dann aber eine ſehr geringe Ausdehnung beſitzen. Welche von beiden Vorausſetzungen der Wahrheit näher kommt, kann füglich unentſchieden bleiben, und man kann ſich die Körper aus Atomen beſtehend denken, die, durch ſehr kleine Zwiſchenräume getrennt, ſich gegenſeitig anziehen mit einer nur in der allergrößten Nähe ſtark wirkenden Kraft, die aber bei zunehmender Entfernung ſehr ſchnell abnimmt und in jedem meßbaren Abſtande unmerkbar iſt. Da nun durch dieſe gegenſeitigen Anziehungen allein die Atome nicht füglich in unveränderten Abſtänden erhalten werden können, und man nicht wohl annehmen kann, daß die Atome ſelbſt zugleich auch einander abſtoßen; ſo müſſen noch anderweitige Einflüſſe vorhanden ſeyn, wodurch die Anziehung der Atome unter einander beſchränkt wird. Am meiſten Grund hat man, dieſe Einflüſſe der Wärme zuzuſchreiben, weil die Wärme in zahlloſen Erſcheinungen unverkennbar auf die innere Zuſammenſetzung und Natur der Körper einwirkt, und am einfachſten kann man ſich von dieſer Einwirkung der Wärme eine Vorſtellung machen, wenn man annimmt, daß die einzelnen Atome der Körper von Wärmetheilchen umgeben ſind, die ſich unter einander abſtoßen, während ſie von den Atomen angezogen werden. Hienach wird die zu große Annäherung der Atome durch die Wärme, ihre Trennung durch die ihnen inwohnende Anziehungskraft gehindert, und bei jedem beharrlichen Zuſtande eines Körpers müſſen beide Wirkungen einander gleich ſeyn; die Mannigfaltigkeit der Körper aber läßt ſich theils durch die verſchiedne Natur der Atome ſelbſt, theils durch ihre verſchiedne Entfernung von einander und ihre Anordnung überhaupt erklären. Man muß zwar geſtehen, daß dieſe Anſicht von der innern Natur der Körper noch in manchen Beziehungen dunkel und unbefriedigend bleibt; ſie ſchließt ſich aber der Erfahrung am beſten an und iſt bei der Erklärung vieler Erſcheinungen vom größten Nutzen.

Poroſität.

Man nennt die Zwiſchenräume zwiſchen den Atomen der Körper Poren, und rechnet dazu auch die gröbern Unregelmäßigkeiten und Lücken, die ſich bei feſten Körpern wenigſtens ſehr häufig ſchon mit den Augen unterſcheiden laſſen. Daß aber in allen Körpern Poren vorhanden ſind, und ihnen alſo die Poroſität als eine allgemeine Eigenſchaft zukommt, wird ſchon dadurch bewieſen, daß alle Körper ſich in einigem Grade zuſammendrücken laſſen, und daß ſie in der Kälte einen kleinern Raum einnehmen als in der Wärme. Bei vielen Körpern zeigt ſich das Vorhandenſeyn der Poren noch auf eine andere Art,

denn da die Körper, die wir zu beobachten Gelegenheit haben, faſt immer lange in der Luft geweſen ſind, ſo können wir meiſtens annehmen, daß die Poren mit Luft gefüllt ſind; dieſe Luft ſehen wir daher gewöhnlich beim Eintauchen in Waſſer, indem das Waſſer in die Poren eindringt, in Blaſen hervorkommen, und wo das Waſſer unter den gewöhnlichen Verhältniſſen auch nicht in die Poren eindringt, da geſchieht es doch, wenn man unter der Luftpumpe das Hervortreten der Luft aus dieſen Poren bewirkt. Selbſt im Waſſer, obgleich von einem Wahrnehmen der Poren des Waſſers nicht die Rede ſeyn kann, befindet ſich Luft, die wir beim Kochen und unter der Luftpumpe, bei aufgehobenem Drucke der Luft, hervorgehen ſehen.

Daß die Dichtigkeit der Körper von der Menge und Größe ihrer Poren abhängt, iſt ziemlich in die Augen fallend, oder läßt ſich wenigſtens aus den Veränderungen ſchließen, die man bei ſtarker Zuſammenpreſſung derſelben wahrnimmt. Wir ſind gewohnt, Holz als weniger dicht in Vergleichung gegen Waſſer anzuſehen; aber Scoresby erzählt einen Fall, wo ein Boot, durch einen weit in die Tiefe gehenden Wallfiſch hinabgezogen, als der Wallfiſch getödtet und nun das an ihm feſthängende Boot heraufgezogen war, eine ſolche Dichtigkeit erlangt hatte, daß es nicht mehr über Waſſer zu erhalten und ſelbſt nach dem Austrocknen unbrauchbar geworden war. Wir werden in der Folge ſehen, daß ein ſo tief unter die Oberfläche des Waſſers hinabgezogener Körper mit ſehr mächtigem Drucke comprimirt wird, alſo viel weniger porös als vorher ſeyn muß, daß alſo das Holz eine größere Dichtigkeit erlangt hatte und deshalb zum Schwimmen untauglich geworden war.

Man pflegt in der Experimentalphyſik mehrere Verſuche zu zeigen, die einen Beweis für die Poroſität der Körper geben, z. B. daß ſich Queckſilber durch die Poren dichten Leders drücken läßt, ja daß ein ſtarker Druck es ſelbſt durch die Poren des Holzes hindurch treibt; daß flüſſige Materien, namentlich Waſſer und Weingeiſt zu einander gemiſcht, einen kleinern Raum einnehmen, als ſie ungemiſcht einnahmen; daß die Ausdünſtungen gewiſſer Materien ihre Wirkungen da zeigen, wohin ſie bloß durch die Poren feſter Körper gelangen können. Zum Beweiſe des letztern dient folgender Verſuch. Man löſet Bleizucker in Waſſer auf, und ſchreibt mit dieſer ganz farbloſen Auflöſung auf ein weißes Papier; man legt das ſo beſchriebene, trocken gewordene Papier in ein Buch, ſo daß es zwiſchen den dicht an einander liegenden Blättern des Buches gegen allen freien Zutritt der Luft geſichert iſt; man legt nun an eine andre Stelle des Buches, ſo daß mehr als 200 Blätter dazwiſchen ſind, ein mit friſch bereiteter Auflöſung von Schwefelkalk in Waſſer befeuchtetes Papier, und legt das Buch ſo zuſammen, daß die Dünſte der Schwefelleber nur durch die Poren des Papiers dorthin gelangen können, ſo findet man dennoch nach ſehr kurzer Zeit jene Schrift braun geworden, vermöge der Einwirkung eben jener Dämpfe.

Die Beobachtung der Poren mit dem Mikroſkope giebt uns zugleich Gelegenheit, die Structur der Körper in ihren einzelnen Theilen wahrzunehmen;

die regelmäßigen Blättchen der Kryſtalle, die Faſern bei den organiſchen Körpern, die zarten Gefäße in ihnen zu erkennen, in welchen die Säfte der Pflanzen aufſteigen, die Flüſſigkeiten im thieriſchen Körper ſich bewegen u. ſ. w.

Cohärenz. — Feſtigkeit. — Flüſſigkeit.

Eine ebenſo wichtige Eigenſchaft der Körper lernen wir durch den Widerſtand kennen, welchen ſie der Zertheilung entgegenſetzen. Alle Körper zeigen mehr oder minder eine Kraft des Zuſammenhanges, der Cohärenz, und durch dieſe thut ſich auch in den gewöhnlichen Erfahrungen jene Anziehungskraft dar, die wir vorhin ſchon, durch andre Gründe geleitet, als den Atomen der Körper eigen annahmen. Dieſe Kraft der Cohärenz äußert ſich am ſtärkſten bei den feſten Körpern, bei denen ſie ſich ebenſowohl der Zuſammendrückung als der Ausdehnung, überhaupt jeder Veränderung der Geſtalt entgegenſetzt; aber ſelbſt die flüſſigen, obgleich ſie der ſchwächſten Kraft nachgeben und jeder Aenderung der Geſtalt empfänglich ſind, zeigen doch ebenfalls einen Zuſammenhang, der wenigſtens beim Waſſer und ähnlichen Körpern ſich in der Bildung der Tropfen wahrnehmen läßt; auch ſetzen ſie der Zuſammendrückung einen ſehr großen Widerſtand entgegen. Dagegen charakteriſiren ſich die luftförmigen Körper dadurch, daß ſie bei noch größerer Beweglichkeit ihrer Theile auch der Zuſammendrückung nur mit einer verhältnißmäßig ſehr geringen Gewalt widerſtehen. Die feſten Körper zeigen ſich ſelbſt unſerm Auge ſchon verſchieden von den flüſſigen; in jenen bemerken wir eine faſerige, körnige oder geſchichtete Lage ihrer Theilchen, wir erkennen mehr oder weniger deutlich die Zwiſchenräume, die ſich zwiſchen den Theilen des Körpers befinden, ſtatt daß der flüſſige Körper den Raum mit mehr Stetigkeit erfüllt. Und obgleich ſelbſt bei dieſen eine ſtreng gleichförmige Raumerfüllung nicht ſtatt finden mag, ſo läßt ſich doch ein Grund einſehen, warum in denjenigen Körpern, welche den Raum mit beinahe vollkommener Gleichförmigkeit erfüllen, die Beweglichkeit der einzelnen Theilchen größer iſt. Wird nämlich, vermöge der jedem Theilchen eigenen Anziehungskraft, irgend eines derſelben von ſeinen Nachbarn nach beiden oder vielmehr nach allen Seiten gleich gezogen, ſo reicht ſchon eine kleine Kraft hin, um die Lage dieſes Theilchens zu ändern, und die große Beweglichkeit der Theile findet weit mehr ſtatt, als es da der Fall iſt, wo die Beſtandtheile ungleichförmig ausgetheilt ſind.

Die abſolute Feſtigkeit der Körper, denn ſo nennen wir den Grad des Widerſtandes, welchen ſie dem Zerreißen entgegenſetzen, ſteht nicht im Verhältniſſe der Dichtigkeit. Wir werden in der Folge Mittel finden zu zeigen, daß Gold viel mehr Dichtigkeit beſitzt, als Eiſen, und doch beſitzt Eiſen eine viel größere Feſtigkeit. Dennoch iſt die Dichtigkeit nicht ganz ohne Einfluß, denn unter zwei Körpern von gleichem Querſchnitte und gleicher materieller Beſchaffenheit hat derjenige die größere Feſtigkeit, der durch irgend ein Mittel eine größere Dichtigkeit erlangt hat, alſo in demſelben Raume mehr zuſammenhaltende Theile umfaßt, und hieraus läßt ſich einigermaßen die

merkwürdige Thatſache erklären, daß dünne Eiſendräthe, die bei dem gewaltſamen Hindurchziehen durch enge Löcher an Dichtigkeit gewonnen haben, verhältnißmäßig mehr zu tragen vermögen als dickere. Man beſtimmt dieſe abſolute Feſtigkeit aus dem Gewichte, welches ein Körper, ohne zu zerreißen, tragen kann, und obgleich die darüber angeſtellten Verſuche, wegen der Ungleichheit einzelner Körpermaſſen derſelben Art, nicht ganz übereinſtimmen, ſo hat man ſich doch dadurch eine zureichend genaue Kenntniß dieſer ungleichen Feſtigkeit erworben. Die Feſtigkeit des Eiſens, nämlich des guten engliſchen Stabeiſens, iſt ſo groß, daß, nach Tredgold's und Duleau's Verſuchen, ein Stab von 1 rheinländ. Quadratzoll Querſchnitt, mit 18200 Pfund belaſtet, ſich nur um $^1/_{1400}$ ſeiner Länge ausdehnt, und erſt bei 50000, ja zuweilen erſt bei 70000 Pfund Belaſtung reißt. Wenn man aber dünne Eiſendräthe der beſten Art von etwa 1,5 Linien Durchmeſſer in ſolcher Anzahl neben einander befeſtigte, daß ihre Querſchnitte zuſammen auch einen Quadratzoll betrügen, ſo würden dieſe 130000 Pfunde tragen können.

Selbſt die Holzarten beſitzen einen hohen Grad von Feſtigkeit, indem nach Eytelwein ein gut ausgetrocknetes Kiefernholz mit parallelen Faſern 16000 bis 21000 Pfund bei einem Querſchnitte von 1 Quadratzoll trägt, und unter dem Eichenholze Stücke vorkommen, deren Tragkraft 26500 Pfund iſt. Unter den zartern Körpern ſind manche, die dennoch eine bedeutende Feſtigkeit haben. So würde nach W. Weber's Verſuchen ein Faden der Seidenraupe durch ſein eigenes Gewicht erſt bei einer Länge von 84000 Fuß reißen, und nach Muſſchenbroek's Angaben vermag ein Menſchenhaar 2000 Gran und ſehr feines Haar doch 1200 Gran zu tragen.

Da es hier nicht meine Abſicht iſt, Alles aufzuzählen, was man über dieſen Gegenſtand beobachtet hat, ſo verweile ich nur noch bei einigen auffallenden Merkwürdigkeiten, auf welche Rumford vorzüglich aufmerkſam gemacht hat. Eine ſolche Bemerkung iſt die auch ſonſt ſchon bekannte, daß in einander geflochtene Fäden mehr Stärke beſitzen, als eben die Fäden, parallel neben einander geſpannt, haben würden, ferner daß Drehung der Seile weniger vortheilhaft, als Flechten der einzelnen Fäden, zur Stärke des Seiles beiträgt, und daß zu ſtarkes Drehen die Stärke des Seiles vermindert, manche künſtlichere Arten der Flechtung aber dadurch, daß ſie eine gleichmäßige Dehnung der gewundenen einzelnen Fäden bewirken, weſentliche Vortheile für die Haltbarkeit gewähren. Zu den auffallenden Beiſpielen von Feſtigkeit, welche Körper beſitzen, denen man keine große Feſtigkeit zuzutrauen pflegt, gehören folgende, gleichfalls von Rumford bekannt gemachte Erfahrungen. Er fand, daß Kupferbleche von $^1/_{20}$ Zoll, alſo reichlich $^1/_2$ Linie Dicke, zu hohlen Röhren geformt, eine doppelt ſo große Feſtigkeit erhielten, wenn man ſie mit einer doppelt ſo dicken Lage ſtarken Papiers, wohl geleimt, überklebte; ferner daß ein aus Papierlagen mit gutem Leim zuſammengeklebter Cylinder bei einem Querſchnitte von 1 Quadratzoll 30000 Pfund zu tragen im Stande war; ein ebenſo aus guten Hanffäden zuſammengeleimter Cylinder trug ſogar 92000 Pfund.

In Rückſicht auf dieſen Zuſammenhang oder auf die Cohäſion zeigen die Körper eine große Verſchiedenheit, indem einige dem Zerreißen, andre dem Zerbrechen, noch andre dem Eindringen in ihre Oberfläche größern Widerſtand leiſten. Wir unterſcheiden daher harte und weiche Körper, und ſelbſt der weiche Körper, das iſt derjenige, deſſen Oberfläche ziemlich leicht Eindrücke annimmt, kann dennoch dem Zerreißen (wie z. B. das Holz) einen großen Widerſtand leiſten. Hart nennen wir die Körper, die jedem Eindringen in ihre Oberfläche ſtarken Widerſtand darbieten. Der Stahl iſt härter als Eiſen, der Diamant ſo hart, daß kein andrer Körper ſeine Oberfläche durch Einritzen angreift, und dennoch kann der geſchickte Künſtler, wenn er die Lage der Blättchen, aus denen der als Kryſtall gebildete Diamant beſteht, richtig wahrnimmt, dieſe Blätter abſpalten, ſo daß die Härte hauptſächlich nur auf dem feſten Zuſammenhange der Theilchen jedes ſolchen Blättchens beruht. — Große Härte der Körper iſt oft mit Sprödigkeit verbunden, welche ſich dadurch äußert, daß eine geringe Beugung ſogleich ein Zerbrechen bewirkt. Die Sprödigkeit bei bedeutender Härte beruht alſo darauf, daß die gegenſeitige Attraction der Theilchen zwar bei der Lage, welche wir die natürliche Lage nennen können, ſehr groß iſt, aber in ſtarkem Grade vermindert wird, ſobald es nur gelungen iſt, die Theilchen ſehr wenig aus dieſer natürlichen Lage herauszurücken. Biegſam, von einer zähen Beſchaffenheit ſind dagegen die Körper dann, wenn ſie eine Aenderung der Geſtalt, ohne zu zerbrechen oder zu zerreißen, geſtatten. Wenn man ſich das Beſtehen irgend eines beſtimmten Körpers, in ſeiner einmal ſtattfindenden Beſchaffenheit, als in dem Gleichgewichte zwiſchen anziehender und abſtoßender Kraft ſeiner Theilchen begründet denkt, ſo müßte man hier ſagen: indem man die Theilchen aus der natürlichen Lage bringt, ſo tritt gleichwohl in der neuen Lage wieder ein Zuſtand des Gleichgewichts ein; beide Kräfte müſſen alſo wohl in ziemlich gleichem Maaße bei vergrößertem Abſtande der Theilchen ihre Wirkung ändern, ſtatt daß ſpröde Körper die Eigenſchaft beſitzen, daß die Attraction, die zuſammenhaltende Kraft der Theilchen, bei der geringſten Vergrößerung der Entfernung ſchnell abnimmt, und daher, wenn die Repulſivkraft nicht in eben dem Grade vermindert wird, ein Aufhören des Zuſammenhanges eintreten muß. Doch ich breche dieſe minder nützlichen Speculationen ab, um bei dem zu verweilen, was ſich in der Erfahrung als merkwürdig, in Beziehung auf dieſe Eigenſchaften, zeigt. Die dehnbaren Körper, die ſich in die Länge ausdehnen laſſen, ohne zu zerreißen, bieten darin etwas Auffallendes dar, daß ſie bei vermindertem Querſchnitte eine größere Laſt tragen. Die Metallſaite zum Beiſpiel verlängert ſich erheblich, und folglich nimmt ihr Querſchnitt erheblich ab, wenn man ein Gewicht an ſie anhängt; man ſollte nun glauben, die Laſt, welche zu ſchwer war, um von der Saite vor der Dehnung getragen zu werden, müſſe jetzt um ſo mehr zu ſchwer ſeyn, die Dehnung müſſe ſich ſogleich bis zum Zerreißen vermehren; aber das iſt bekanntlich nicht der Fall, ſondern bei geringen Belaſtungen tritt nach der erſten plötzlichen Verlängerung ein Zuſtand der

Ruhe ein, nur bei großen Belaſtungen dauert die Verlängerung fort und vermindert im Laufe von Jahren endlich die Feſtigkeit ſo, daß der Drath reißt. Vicat hat durch Verſuche gefunden, daß bei Anwendungen im Großen, z. B. bei Kettenbrücken, ein Eiſendrath nicht weiter als bis zum vierten Theile ſeiner Tragekraft belaſtet werden darf, wenn nicht durch dieſe fortdauernde Dehnung die Haltbarkeit gefährdet werden ſoll.

Als Beiſpiel großer Härte und großer Sprödigkeit pflegt man immer die ſchnell gekühlten Glastropfen und Glasfläſchchen anzuführen. Beide Arten von Glasmaſſe ſind feſt genug, um recht bedeutenden Stößen zu widerſtehen, und bleiben auch beim Reiben an harten Körpern in ihrem feſten Zuſammenhange; aber bricht man an den Glastropfen den feinen Faden ab, ſo zerſpringt der ganze dicke Glaskörper in Pulver, und läßt man auf den Boden des Glasfläſchchens (dieſe Fläſchchen ſind unter dem Namen der Bologneſer Fläſchchen bekannt) auch nur ein kleines Stückchen Feuerſtein fallen, ſo zerſpringt das Gefäßchen. Die ſchnelle Kühlung des Glaſes bewirkt hier einerſeits, daß die äußern Theile erſtarren, ohne ſich hinreichend zuſammenziehen zu können, weil ſie durch die innern noch glühenden und ſtark ausgedehnten Theile daran gehindert werden, andrerſeits werden aber auch die innern ſich ſpäter abkühlenden Theile durch die äußere ſchon ſtarre Schicht an der Zuſammenziehung gehindert und ebenfalls in einer gezwungenen Anordnung erhalten, die daher bei der geringſten Störung gleich ein vollſtändiges Zerbrechen herbeiführt.

Elaſticität.

Die biegſamen und dehnbaren Körper zeigen noch eine beſondere Wirkungsart der Feſtigkeit in vorzüglich hohem Grade, indem ſie mehr oder minder das Beſtreben haben, nach jeder gewaltſamen Veränderung ihrer Geſtalt von ſelbſt ihre urſprüngliche Geſtalt wieder anzunehmen. Man nennt dieſe Eigenſchaft Elaſticität, und obgleich ſie keinem Körper ganz fremd, aber auch bei keinem in aller Vollkommenheit vorhanden iſt; ſo unterſcheidet man doch unelaſtiſche und elaſtiſche Körper und nennt nur die elaſtiſch, die dieſe Eigenſchaft in ſehr hervorſtechendem Grade beſitzen. Wollen wir die Erklärung der durch die Elaſticität hervorgebrachten Erſcheinungen von den gegenſeitigen Einwirkungen der Atome herleiten, ſo müſſen wir, wie es ſcheint, annehmen, daß bei der Compreſſion der Theilchen das Uebermaaß der abſtoßenden Kraft ſo groß wird, daß ſie die vorige Entfernung der Theilchen von einander herzuſtellen ſtrebt und wirklich herſtellt, daß hingegen bei dem Auseinanderdehnen die anziehende Kraft nicht in dem Maaße, wie die abſtoßende Kraft, abgenommen hat, und jene alſo mit überwiegender Gewalt die Theilchen zu ihrer vorigen Lage zurückführt. Die Elaſticität äußert ſich auf mannigfaltige Weiſe. Einige Körper, zum Beiſpiel Kugeln aus Elfenbein oder aus Federharz, können durch ſtarken und plötzlichen Druck ein wenig zuſammengepreßt werden, nehmen aber bei nachlaſſendem Drucke ſogleich ihre Geſtalt wieder an. Andre Körper, zum Beiſpiel längere Stäbe, erlauben eine Biegung, ſpringen aber mit großer

Gewalt zurück, wenn man ſie frei läßt. Die elaſtiſche Saite wird durch das plötzlich angehängte Gewicht zuerſt mehr ausgedehnt, zieht ſich dann ein wenig wieder zuſammen, und gelangt nach abwechſelnder Oſcillation zu dem Zuſtande der Dehnung, welcher eigentlich dem angehängten Gewichte angemeſſen iſt. Wenn man hiebei innerhalb der Gränzen der vollkommenen Elaſticität bleibt, d. h. nicht mehr Gewicht anhängt, als ohne bleibende Verlängerung der Saite geſchehen kann, ſo nehmen dieſe Dehnungen in demſelben Verhältniſſe zu als die angehängten Gewichte, ſo daß ſich mittelſt einer für jedes Material durch beſondre Verſuche zu beſtimmenden Zahl, die als Maaß der Elaſticität betrachtet werden kann, die Dehnungen berechnen laſſen, die bei beſtimmten Dimenſionen des Fadens und beſtimmten Gewichten eintreten müſſen. Merkwürdig iſt dabei, daß die Dehnung bei verſchiedenen Körpern in ſehr verſchiedenen Zeiten vollendet wird; während nämlich bei einem Metalldrathe nur eine unmerkliche Zeit dazu erforderlich iſt, können bei einem Seidenfaden Tage vorübergehen, während deren ganz allmälig der Faden ſich dem Zuſtande der Dehnung annähert, der dem Gewichte entſpricht.

Mit welcher Gewalt die elaſtiſchen Körper ſtreben, ihre natürliche Geſtalt wieder anzunehmen, davon ſind zahlreiche Beiſpiele ſo bekannt, daß ich Sie nur daran zu erinnern brauche. Der Ball aus Federharz, den man frei fallen ließ, wird durch die Elaſticität wieder hoch hinaufgeworfen; der geſpannte Bogen, ein elaſtiſcher Stab, treibt, indem er in ſeine urſprüngliche Lage zurückkehrt, den Pfeil mit großer Geſchwindigkeit fort; die Balliſten und Catapulten der Alten, mit welchen Laſten von mehr als 100 Pfund geworfen wurden, erhielten die große Gewalt, mit welcher ſie dieſe auf 3000 Fuß weit fortgeſchleudert haben ſollen, durch die Elaſticität ſtark gedrehter Seile, die man plötzlich frei ließ und deren mächtige Kraft beim Zurückkehren in ihre ungedrehte Lage jene Laſten in Bewegung ſetzte. Daß ſelbſt die ſpröden Körper, zum Beiſpiel Glas, elaſtiſch ſind, zeigt ſich in dem Klange, den ſie hervorzubringen im Stande ſind; aber ſpröde Körper verſtatten nur geringe Aenderungen der Geſtalt und nehmen die vorige Geſtalt in ſchnell auf einander folgenden Oſcillationen, die uns im Klange hörbar werden, wieder an.

Sehr merkwürdig iſt es, daß wir bei manchen Körpern die Mittel beſitzen, um ihnen die eine oder die andre dieſer Eigenſchaften zu ertheilen. So nimmt die Sprödigkeit der Körper im Allgemeinen mit der Kälte bedeutend zu, und unter andern beobachtete Parry bei ſeinen Reiſen in den nördlichen Polarmeeren, daß bei ſehr großer Kälte eiſerne Nägel während des Einſchlagens zerſprangen. Dieſe Einwirkung geht jedoch bei den meiſten Körpern mit dem Wechſel der äußern Temperatur vorüber, und nur bei einigen kann man durch plötzliche Abkühlung und andre Verfahrungsarten bleibende Aenderungen bewirken. Das Meſſing wird durch Hämmern elaſtiſch, beſonders aber iſt in dieſer Beziehung der Stahl zu erwähnen, welcher ſeine große Härte und Sprödigkeit durch ſchnelles Abkühlen nach dem Glühen erlangt, und den man wieder dieſer Eigenſchaften beraubt, indem man ihn nach abermaligem Glühen

nicht ſo plötzlich abkühlt. Die verſchiedene Behandlung des Eiſens, wobei theils ſeine Beſtandtheile, indem es Kohle aufnimmt, in einem geringen Grade geändert werden, theils bloß eine Einwirkung auf die innere Anordnung ſeiner Theile ſtatt findet, giebt ihm viele Verſchiedenheiten ſeiner Eigenſchaften, indem es in einem Zuſtande ſpröde und daher nicht hämmerbar, im andern geſchmeidig, in einem andern hart und elaſtiſch und ſo weiter iſt. Fortin hat durch Verſuche gezeigt, daß der ſchnell abgekühlte oder gehärtete Stahl ein größeres Volumen behält, als ohne Härtung. Man nimmt genau abgedrehte cylindriſche Stücke ungehärteten Stahls, die genau in einen hohlen Cylinder von Stahl paſſen; wenn man nun jene allein, getrennt von dem hohlen Cylinder, härtet, ſo gehen ſie nach dem Abkühlen nicht mehr in jene Höhlung, ſondern haben ein zu großes Volumen behalten. Iſt der hohle Cylinder aus einer andern Materie, die nicht der Veränderung fähig iſt, wie der Stahl beim Härten, ſo kann man den Stahlcylinder in dem hohlen Cylinder laſſen, ſie zuſammen erhitzen und ſchnell abkühlen; dann wird der Stahl ſo feſt eingetrieben ſeyn, als ob er mit Gewalt in einen zu engen Cylinder getrieben wäre. — Daß aber auch geringe Aenderung der Beſtandtheile den Grad der Feſtigkeit und Härte ſehr ändern kann, haben Faraday und Stodart durch viele Verſuche gezeigt, wo zum Beiſpiel eine Beimiſchung von $^1/_{500}$ Silber zum Stahl dieſem eine ungemeine Härte und Vorzüglichkeit gab, während andre Beimiſchungen, beſonders Phosphor und Schwefel, ſelbſt in den geringſten Quantitäten hinzugethan, den Stahl ſehr verſchlechtern.

Dritte Vorleſung.

Bewegung und Ruhe. Abſolute und relative Bewegung.

Schon in den Betrachtungen, womit ich Sie neulich unterhielt, konnte ich es mehrmals nicht vermeiden, von einer Aenderung in der Lage der Körpertheilchen und von Urſachen, welche dieſe Aenderung bewirken, zu reden; aber was dort nur obenhin angedeutet zu werden brauchte, verdient eine gründlichere Ueberlegung, und die Fragen, wiefern Beweglichkeit eine nothwendige Eigenſchaft der Körper ſey, was Ruhe und Bewegung heißt und wie ſie entſteht oder, einmal entſtanden, fortdauert, — dieſe Fragen ſollen uns jetzt beſchäftigen.

Jeder Körper nimmt einen Raum ein, aber er bleibt nicht immerfort an demſelben Orte, ſondern kann ſeine Stelle ändern, er iſt alſo beweglich. Er ruhet, ſo lange er an demſelben Orte verharret, er bewegt ſich, wenn er, in nach einander folgenden Augenblicken, in einen andern Ort hinübertritt, einen gewiſſen Weg durchläuft, ſeine Lage im Raume ändert. Wir ſind gewöhnlich geneigt, die Entſcheidung, ob ein Körper ſich bewege oder ruhe, für ziemlich leicht zu halten; aber ſelbſt alltägliche Erfahrungen können uns belehren,

daß dieſe Entſcheidung nicht immer ſo leicht iſt, und daß wir ſehr oft eine ſcheinbare Bewegung wahrnehmen, wo doch Ruhe ſtatt findet, ſo wie in andern Fällen Körper uns zu ruhen ſcheinen, die ſich doch wirklich bewegen. Wenn wir in dem untern Raume eines ſehr gleichförmig fortgehenden Schiffes ſitzen, ſo bemerken wir es oft gar nicht, daß wir mit allen uns zunächſt umgebenden Körpern fortbewegt werden, und wir halten den Tiſch, an welchem wir ſitzen, die Wände, die uns umgeben, für ruhend, weil alle dieſe Gegenſtände unter ſich und gegen uns ſelbſt eine ungeänderte Lage behalten. Alle dieſe einzelnen Körper ſind relativ gegen einander ruhend, indem ſie ihre gegenſeitige Lage nicht ändern, und dieß verleitet uns, ſie für abſolut ruhend zu halten, ſo lange wir ſie nicht mit der Lage andrer Körper vergleichen, die an der Bewegung jener im Schiffe befindlichen Körper nicht Theil nehmen. Befinden wir uns ſo in der Kajüte des Schiffes in vermeinter völliger Ruhe, und blicken nun zum Fenſter hinaus auf die hinter uns zurückbleibenden, im Waſſer ſchwimmenden Körper, ſo ſind wir geneigt zu glauben, dieſe gingen, in raſchem Strome zurückeilend, an uns vorbei, ja dieſe Täuſchung findet ſelbſt noch ſtatt, wenn wir auf das Ufer blicken, und obgleich wir wiſſen, daß die Bäume und Häuſer am Ufer nicht auf dieſe Weiſe zurücklaufen, ſo können wir doch dem ſinnlichen Eindrucke, als ob es ſo ſey, kaum widerſtehen. Eben dieſe Täuſchung empfinden wir beim ſchnellen Fahren im Wagen und in vielen andern Fällen, und wir lernen dadurch, daß unſer Urtheil über die Bewegung oder Ruhe durch unſre eigne Bewegung ſehr unſicher wird. Iſt es alſo wahr, was die Aſtronomen behaupten, daß die Erde mit großer Schnelligkeit eine Bahn um die Sonne durchläuft und zugleich täglich eine Umdrehung um ihre eigne Axe vollendet, ſo iſt es einleuchtend, daß uns dieſe Bewegung durch keinen auf der Erde befindlichen Gegenſtand merklich werden kann, indem Land und Waſſer, Berge und Städte, in eben der gegenſeitigen Lage verharrend und eben die Lage gegen uns, wenn wir auf der Erde ſtill ſtehen, behaltend, mit fortgeführt werden, daß alſo dieſe relative Ruhe der auf der Erde befindlichen Körper gegen einander gar wohl ſtatt finden kann, wenn auch die ganze Erde mit allen dieſen Körpern ſich fortbewegt. Wollen wir wiſſen, ob die ganze Erde ſich bewegt, ſo müſſen wir (wenn ich den von dem vorhin betrachteten Falle entlehnten Ausdruck hier gebrauchen darf) aus dem Fenſter unſers Schiffes hinaus auf Gegenſtände hinblicken, die nicht in Verbindung mit der Erde ſtehen, und da ſehen wir ſogleich, daß Sonne und Geſtirne eine ſcheinbare Bewegung darbieten, eine Bewegung, die uns zu der Frage auffordert, ob dies etwa eben ſolche feſtſtehende Gegenſtände ſind, wie es vorhin die Häuſer und Bäume am Ufer waren, deren ſcheinbare Bewegung durch unſre eigne wahre Bewegung hervorgebracht wird. Und da wir wahrnehmen, daß alle Geſtirne, alle nicht mit unſerm Schiffe, mit der Erde nämlich, verbundenen Gegenſtände jene Bewegung zeigen, ſo werden wir zu der Ueberzeugung geleitet, daß es nur die Erde iſt, welche ſich bewegt, welche, vermöge ihrer täglichen Umwälzung oder Rotation, bald ihre eine, bald ihre andre Seite der Sonne

darbietend, uns die Sonne aufgehend und untergehend zeigt, und welche, vermöge ihres Umlaufs um die Sonne in einem ganzen Jahre, uns einen ſcheinbaren Lauf der Sonne durch die Geſtirne des Thierkreiſes wahrnehmen läßt.

Ich verweile bei dieſen Gegenſtänden, deren ausführliche Betrachtung in die Aſtronomie gehört, nicht länger, da es hier hinreicht, eine kurze Andeutung der Schlüſſe zu geben, die, auf eine genaue Darſtellung der einzelnen Erſcheinungen geſtützt, jene Ueberzeugung von der wahren Bewegung der Erde ſicher gewähren. Wiſſen wir aber, daß die Erde ſich bewegt, ſo erhellt die große Schwierigkeit der Beſtimmung, ob ein Körper wahrhaft ruhe, da ſeine ſcheinbare Ruhe in Vergleichung gegen die Erde gar keine Entſcheidung hierüber gewährt. Indeß, wenn auch dieſe Entſcheidung im einzelnen Falle ſchwer, ja faſt unmöglich ſeyn mag, ſo bleibt doch der Begriff einer abſoluten Ruhe, als eines wahrhaften Verharrens an demſelben Orte des Raumes, nicht minder klar, und die abſolute Bewegung beſteht alſo in einer wahren Aenderung der Lage.

Richtung und Geſchwindigkeit der Bewegung.

Um die Betrachtung zu vereinfachen, wollen wir uns die Bewegung eines einzigen Punktes denken. Der Weg, den dieſer durchläuft, iſt eine grade oder krumme Linie, und wir ſagen, daß der Punkt in immer gleicher Richtung fortgehe, wenn er eine grade Linie beſchreibt, daß er hingegen ſeine Richtung ändre, wenn er entweder plötzlich auf einer andern graden Linie fortzugehen anfängt, oder, nach und nach von ſeiner vorigen Richtung abweichend, eine krumme Linie durchläuft. Er durchläuft dieſen Weg mit irgend einer Geſchwindigkeit; bekanntlich nennen wir diejenige Geſchwindigkeit doppelt ſo groß, bei welcher der Punkt in derſelben Zeit den doppelten Raum durchläuft, und eben jene gleichmäßige Zunahme des Weges in gleichen Zeiten dient uns als Maaß der Geſchwindigkeit. Auch der Ausdruck: daß die Geſchwindigkeit dem in gleichen Zeiten durchlaufenen Wege proportional ſey, iſt hieraus deutlich, und eben ſo daß die zum Durchlaufen eines beſtimmten Weges erforderliche Zeit der Geſchwindigkeit umgekehrt proportional iſt; denn der doppelt ſo ſchnell bewegte Körper gebraucht für eben den Raum nur halb ſo viel Zeit, der dreimal ſo ſchnell bewegte braucht nur ein Drittel der Zeit u. ſ. w. — und dieſes will eben der Ausdruck: umgekehrt proportional, ſagen.

Etwas ſchwieriger iſt die Beantwortung der Frage, wie man denn die Größe derjenigen Geſchwindigkeiten beſtimmt, die nicht längere Zeit durch ungeändert bleiben. Bei der gleichförmigen Bewegung iſt die Geſchwindigkeit immer unverändert, und an dieſe denken wir, wenn wir etwa von der Geſchwindigkeit des Windes, die bei Stürmen 100 Fuß in der Sekunde und noch mehr betragen kann, von der Geſchwindigkeit des engliſchen Rennpferdes Stirling, das zu Anfang ſeines Laufes 82½ Fuß in einer Sekunde zurücklegte,[1] von der Geſchwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, die = 93700 par.

[1] Blumenbach's Handbuch der Naturgeſchichte, bei der Beſchreibung des Pferdes.

Fuß [1] in einer Sekunde iſt, reden; aber der frei fallende Stein zeigt uns, je tiefer er gefallen iſt, deſto mächtigere Wirkungen, und giebt uns ſo eine mit dem tiefern Falle immer größer werdende Geſchwindigkeit zu erkennen; wir fragen daher mit Recht, wie wir hier den Begriff der in irgend einem Augenblicke ſtatt findenden Geſchwindigkeit klar auffaſſen ſollen. Da es erſt in der Folge mir möglich ſeyn wird, durch Experimente Ihnen zu zeigen, daß wir gar wohl in gewiſſen Fällen im Stande ſind, die Beſchleunigung der Bewegung zu unterbrechen, das heißt, zu bewirken, daß die bis dahin fortwährend ſchneller werdende Bewegung nun nur diejenige Geſchwindigkeit ohne weitere Vermehrung behält, welche ſie einmal erlangt hat, ſo muß ich mich hier begnügen, nur zu ſagen, daß wir uns wenigſtens vorſtellen können, die Beſchleunigung, die Zunahme der Geſchwindigkeit, höre plötzlich auf, und der Körper gehe mit der erlangten Geſchwindigkeit fort; dann würden wir dieſe grade in dem Augenblicke erlangte Geſchwindigkeit unmittelbar kennen lernen. Wo dieß nicht der Fall iſt, da könnten wir allenfalls auf andre Mittel denken, um dieſe, in einem beſtimmten Augenblicke ſtatt findende Geſchwindigkeit kennen zu lernen, die ſich jedoch erſt in der Folge auf eine recht angemeſſene Weiſe darbieten. Dieſe Ungleichförmigkeit der Geſchwindigkeit kann eben ſo gut in einer allmäligen Abnahme der Geſchwindigkeit beſtehen, wie wir es an Kugeln, die über einer rauhen Fläche hinrollen, ſehen, und eine ſolche Bewegung heißt eine retardirte, verzögerte, ſtatt daß die vorhin betrachtete accelerirt oder beſchleunigt heißt.

Kraft. — Trägheit.

Da Alles, was geſchieht, irgend eine Urſache haben muß, ſo kann ein Körper nicht von ſelbſt, ohne äußere Veranlaſſung, anfangen ſich zu bewegen; wenn er ſich aber ſchon in Bewegung befindet, ſo kann er eben ſo wenig ohne Veranlaſſung den Zuſtand der Bewegung, in dem er ſich befindet, ändern, er muß alſo ohne Ende nach derſelben Richtung und mit derſelben Geſchwindigkeit fortgehen. Jede Veranlaſſung, die entweder Bewegung hervorbringt, oder eine ſtatt findende Bewegung hemmt, heißt Kraft; das eben ausgeſprochene Geſetz aber heißt ziemlich unpaſſend das Geſetz der Trägheit, und es würde kaum nöthig ſeyn, deſſen Richtigkeit beſonders zu beweiſen, wenn nicht die Erfahrung uns ſo oft Bewegungen zeigte, die anſcheinend von ſelbſt ſich ändern, wo der Körper, mit abnehmender Geſchwindigkeit fortgehend, endlich zur Ruhe gelangt. Aber man braucht nur dieſe Erfahrungen aufmerkſam zu betrachten, ſo zeigt ſich ſogleich, daß z. B. die über einer rauhen Fläche hin rollende Kugel eher, die über einer glatten Fläche hin rollende Kugel ſpäter einen merklichen Verluſt an Geſchwindigkeit leidet, daß es alſo nur der Widerſtand, eine der Bewegung entgegenwirkende Kraft, iſt, welche die erlangte Geſchwindigkeit vermindert, und daß wir, da in allen Fällen auf ähnliche

[1] = 96980 rheinländ. oder preuß. F.

Weiſe die Urſache der verminderten Bewegung ſich nachweiſen läßt, Unrecht haben würden, wenn wir der Materie an ſich ein Beſtreben nach Ruhe beilegen wollten. Alle Erſcheinungen, wenn wir ſie richtig und ſorgfältig betrachten, deuten vielmehr darauf hin, daß allemal erſt eine neue Kraft nöthig iſt, um irgend eine Veränderung im Zuſtande des Körpers in Hinſicht auf Bewegung und Ruhe hervorzubringen. Unzählige Erſcheinungen zeigen uns dieſe Wirkung der Trägheit. Wenn wir im Wagen ſitzen und der Wagen plötzlich fortgezogen wird, ſo ſchwankt der obere frei gehaltene Theil unſers Körpers rückwärts, weil er noch in Ruhe bleibt, während der untere ſchon fortgezogen wird, aber auch umgekehrt, wenn der ſchnell fortgezogene Wagen plötzlich angehalten wird, ſo ſchwankt der obere Theil unſers Körpers vorwärts, weil er, vermöge der Trägheit, ſeine Bewegung noch behält, während ſie dem untern, feſt an den Theilen des Wagens anliegenden Theile des Körpers plötzlich geraubt iſt. Wer in einem ſchnell fahrenden Schiffe aufrecht ſteht, muß, wenn das Schiff plötzlich ans Ufer ſtößt, ſeine Stellung ſehr vorſichtig nehmen, wenn er nicht nach der Richtung, nach welcher das Schiff ſich bewegte, hinſtürzen will; denn auch hier behält der nur wenig mit dem Schiffe verbundene Körper ſeine Geſchwindigkeit noch, wenn dieſes ſchon feſtgehalten wird. — Vermöge der Trägheit befeſtigt ſich die Axt am Stiele, wenn man den Stiel auf einen harten Körper aufſtößt; das Eiſen nämlich behält die niederwärts gerichtete Bewegung, die man ihm mit dem Stiele zuſammen ertheilt hatte, noch dann, wenn der Stiel ſchon feſtgehalten wird, und es rückt daher auf dem Stiele zu enger anſchließenden Punkten fort. — Durch die Trägheit wird das Pendel nach ſeinem Fallen in dem hinaufgehenden Bogen fortgeführt, und alle oſcillirende Bewegungen verdanken ihren Urſprung dem durch Trägheit bewirkten Fortgange der Bewegung über den Zuſtand hinaus, den die wirkende Kraft herzuſtellen ſtrebte. Doch noch viel gewöhnlichere Erfahrungen zeigen uns dieſe Trägheit. So behält jeder geworfene Körper nur durch die Trägheit die Geſchwindigkeit bei, die ihm durch das Werfen ſelbſt ertheilt wurde, auch würde er mit dieſer Geſchwindigkeit ohne Ende in grader Linie fortgehen, wenn nicht die Schwerkraft als eine neue Veranlaſſung hinzukäme, um den Körper von der graden Linie abzulenken. Größtentheils auf der Trägheit beruhen die mannigfachen Gefahren, die mit jeder ſchnellen Bewegung verbunden ſind. Wird nämlich eine ſolche Bewegung, z. B. die eines Dampfwagens auf einer Eiſenbahn durch irgend eine Zufälligkeit plötzlich unterbrochen, ſo behalten doch alle bei dem Zuge befindlichen Perſonen und alle nachfolgenden Wagen insgeſammt für den erſten Augenblick ihre Geſchwindigkeit von ungefähr 24—30 Fuß in der Sekunde bei, und erfahren alſo ziemlich dieſelbe Wirkung, als ob ſie mit dieſer Geſchwindigkeit gegen irgend einen feſten Gegenſtand geworfen würden.

In eben dieſem Geſetze der Trägheit, in dem Beharren im Zuſtande der ſchon erlangten Bewegung, liegt auch der Grund, warum eine fortwährend wirkende, dem Körper Geſchwindigkeit ertheilende Kraft eine beſchleunigte

Bewegung hervorbringt; denn der Körper würde auch ohne erneuerte Einwirkung jener Kraft mit der ſchon erlangten Geſchwindigkeit fortgehen, er muß alſo größere Geſchwindigkeit erlangen oder mit beſchleunigter Bewegung fortgehen bei fortdauernder Einwirkung dieſer Kraft; und ſo erhellt zugleich der Grund, warum eine ſolche Kraft, wie die Schwere, eine beſchleunigende Kraft heißt, nämlich eine ſolche, die durch ſtetige, ununterbrochene Wirkung nach einer beſtimmten Richtung die dieſer Richtung gemäße Geſchwindigkeit unaufhörlich vermehrt.

Mittheilung der Bewegung.

Sehr nahe hängen ferner mit der Trägheit manche bemerkenswerthe Erſcheinungen zuſammen, die dann beobachtet werden, wenn ein bewegter Körper einen andern mit in Bewegung ſetzt. Wenn eine ſolche Einwirkung auf einen feſten Körper ſtatt findet, ſo ſind wir gewohnt, dieſen Körper durch den Stoß ganz fortgeführt, ihn als unzertheilten Körper die ſeiner Maſſe angemeſſene Bewegung annehmen zu ſehen. Die Mittheilung der Bewegung erſtreckt ſich dann nicht bloß auf einige unmittelbar durch den Stoß getroffene Theilchen, ſondern auf alle feſt verbundene Theile des Körpers. Daher fällt es uns als eine ſonderbare Erſcheinung auf, wenn bei ſehr heftigem Stoße diejenigen Theile, welche unmittelbar getroffen werden, losgeriſſen von den übrigen, allein die dem Stoße angemeſſene Bewegung annehmen, wenn zum Beiſpiel die durch das Schießpulver in ſo ungemein ſchnelle Bewegung geſetzte Flintenkugel durch eine leicht bewegliche dünne Holzplatte dringt, ohne die ganze Maſſe aus der Stelle zu bewegen, oder eine Glasſcheibe durchlöchert, ohne ſie zu zerſchmettern. Man kann ähnliche Erſcheinungen leicht erhalten. Legt man eine Menge von Platten mit parallelen Oberflächen, z. B. die Steine des Damenſpieles oder ebengeſchliffene Metallplatten, auf einander, bis ſie eine ziemlich hohe Säule bilden, ſo wird bei einem langſamen Drucke, der von der Seite her einen dieſer Körper, etwa mit Hülfe eines Meſſers, das nur einen derſelben mit ſeiner Schärfe berührt, fortzuſchieben ſtrebt, der ganze obere Theil der Säule mit fortgeſchoben und eben deshalb auch umgeworfen werden; ſchlägt man dagegen mit recht ſicherm, raſchem Stoße mit der Schärfe des Meſſers an einen der mittlern Körper, ſo ſchlägt man dieſen heraus, und die höher liegenden Stücke werden ſo wenig mit fortgeriſſen, daß die Säule ruhig ſtehen bleibt und höchſtens nur (wenn man nicht zu ungeſchickt getroffen hat) die nächſten Platten ſich um etwas Weniges auf die Seite gerückt finden. Ein ähnlicher, ſehr bekannter Verſuch iſt der, wo ein thönernes Pfeifenrohr horizontal an zwei Haaren aufgehängt wird; bei einem langſamen, allmälig verſtärkten Drucke auf die Mitte des Pfeifenrohres reißen die Haare, aber ein heftiger, auf die Mitte des Pfeifenrohres geführter Schlag zerbricht dieſes, ohne die Haare zu zerreißen. Wenn man ein Kartenblatt auf ein Glas und auf jenes ein Stück Geld legt, ſo wird, bei langſamem Drucke von der Seite, die Karte mit dem Gelde auf die Seite geſchoben, aber ein raſcher Schlag an die Karte, eine an die Karte treffende losgeſchnellte Feder oder ſelbſt der auf

dieſe Weiſe antreffende Finger führt die Karte unter dem Geldſtücke fort, ſo daß dieſes in das Glas herabfällt. Um das, worauf es ankommt, damit dieſe Erſcheinung das Auffallende verliere, deutlicher hervorzuheben, haben wir nur nöthig, an ähnliche Verſuche mit weichen Körpern zu denken. Wenn ich eine weiche Tonkugel mit dem Finger vorſichtig berühre, ſo kann ich ſie fortſchieben, ohne eben einen tiefen Eindruck in ihre Maſſe zu machen; aber ein heftiger Stoß mit der Spitze des Fingers gegen dieſe weiche Maſſe macht den Finger tief eindringen, ohne die ganze Maſſe erheblich fortzuführen. Wir ſehen daher, daß der Zuſammenhang der Theile einer allmälig wirkenden Kraft beſſer widerſteht und die Seitenmittheilung einer nur auf wenige Theile beſchränkt wirkenden Kraft ſich wirkſamer zum Fortreißen der nicht unmittelbar getroffenen Theile zeigt, wenn die Kraft langſam und ſtetig wirkt; es iſt, als ob dieſe Seitenmittheilung eine gewiſſe Zeit forderte, ſo daß bei ſehr raſchem Stoße das Losreißen der Theile ſchon erfolgt iſt, ehe dieſe Seitenmittheilung eintreten konnte. Unzählige tägliche Erfahrungen beruhen hierauf. — Man will z. B. eine verhältnißmäßig ſchwere Laſt an einem ziemlich ſchwachen Faden oder Seile fortziehen; — es gelingt vielleicht bei recht langſam und ſtetig vermehrter Kraft, aber der Faden reißt, wenn man die Laſt mit einem Stoße auf einmal in Bewegung ſetzen will. —

Auch manche Verfahrungsarten, die man beim Steinſprengen anwendet, finden hierdurch ihre Erklärung. Es iſt bekannt, daß man beim Abſprengen der Steinmaſſen vom natürlichen Fels oder beim Zerſprengen einzelner Steine ſich des Schießpulvers ſo bedient, daß man cylindriſche Löcher ſo tief, als man es nach Maaßgabe der abzuſprengenden Stücke nöthig findet, einbohrt, ſie mit Schießpulver zum Theil ſfüllt, dann oben durch kleines feſtgeſtampftes Geſtein verſchließt und durch ein mit Schießpulver gefülltes, durch dieſe eingeſtampfte Bedeckung reichendes Rohr das unten enthaltene Pulver entzündet. Die Gewalt der Exploſion des Pulvers zerſprengt den Stein, und obgleich man ſchon hier zu der Frage geleitet werden ſollte, warum denn das in Vergleichung gegen die ungemeine Feſtigkeit des Steines immer nur locker eingeſtampfte Geſtein nicht herausgeworfen werde, ehe der Stein ſich in Stücke theilt, ſo hat man doch dieſen Erfolg als den ganz natürlichen angeſehen; aber als eine wunderbare Erſcheinung trat dagegen die zuerſt von Jeſſop gemachte und ſpäter häufig wiederholte Erfahrung hervor, daß es des Feſtſtampfens gar nicht bedürfe, ſondern daß bei Füllung des Bohrloches mit völlig loſem Sande das Zerſpringen des Steines eben ſo gut ſtatt finde. Hier bietet ſich die Frage, warum denn nicht die kleine Quantität locker aufgeſchütteten Sandes herausgeworfen werde, ehe der Stein eine Zertrennung erleidet, ſo natürlich dar, daß man genöthigt war, nach ihrer Beantwortung ſich umzuſehen, und dieſe ſcheint mir auf folgende Art gegeben werden zu müſſen. Es iſt bekannt, daß, ſelbſt wenn die Kugel aus dem Schießgewehr hervorgetrieben wird, auch die Wände des Rohres einen Stoß leiden; da aber hier die Kugel als ein einziger feſter Körper ſogleich fortgeführt wird,

ſo hat der Druck auf die Wände nicht Kraft und Dauer genug, um das Rohr oder den Stein zu ſprengen; ſind es dagegen einzelne Sandkörnchen, locker aufgeſchüttet, oder ſind es Steinſtückchen, die man zuſammengeſtampft hat, ſo drängt ſich die erſte Schicht an die zweite, dieſe an die dritte, und ſo klein der Zeitverluſt uns ſcheint, der dadurch bewirkt wird, ſo reicht doch dieſe Verlängerung der Einwirkung hin, um die Zerſprengung des Steines zu Stande zu bringen, ehe der Sand herausgeworfen wird. So wie das Pfeifenrohr ſchon zerbrochen iſt, ehe die Mittheilung der Bewegung bis zu den Aufhängepunkten an den Haaren gelangt, ſo iſt hier der Stein in Stücke geſprengt, ehe der Sand Zeit hatte, die verſchiedenen Stufen der Zuſammenpreſſung durchzugehen. Hiezu kommt noch, daß nach Huber Burnand's und Hagen's ſpäter genauer anzuführenden Verſuchen alle körnigen Subſtanzen der ſtarken Reibung wegen, die ſie bei ihrer Bewegung zu überwinden haben, faſt ganz unfähig ſind, einen Druck durch ihre Maſſe fortzupflanzen oder durch denſelben in einer engen Röhre fortbewegt zu werden, wodurch alſo dieſe geringe Verzögerung bei der Einwirkung auf den Sand noch leichter erklärlich wird.

Selbſt das Waſſer zeigt in vielen Fällen ähnliche Erſcheinungen, denn bei dem Auftreffen eines ſehr ſchnell bewegten Körpers vermag es, ſeiner großen Beweglichkeit ungeachtet, doch nicht hinreichend ſchnell deſſen Bewegung mitanzunehmen und auszuweichen, und verhält ſich dann faſt wie ein ſtarrer Körper. Dieß beweiſt unter andern die bekannte Erfahrung, daß eine in faſt horizontaler Richtung gegen eine Waſſerfläche geſchoſſene Kanonenkugel mehrmals von derſelben zurückprallt, ferner ein intereſſanter Verſuch, der ſich leicht mit einem ſolchen ſchnell gekühlten Glastropfen, wie ich ihn neulich ſchon erwähnte, anſtellen läßt. Zerbricht man nämlich einen ſolchen Tropfen in einem gläſernen Gefäſſe unter Waſſer, ſo wird auch bei ganz freier Oberfläche des Waſſers das Gefäß zerſprengt.

Unter vielen andern hieher gehörigen Erſcheinungen erwähne ich nur noch die, daß eine Scheibe aus weichem Eiſen ſehr ſchnell gedreht in Glas und Stahl einſchneidet. Colladon's Verſuche zeigen deutlich, wie dieſe Einwirkung des weichen Körpers auf den harten von der Geſchwindigkeit abhängt. Ein harter Grabſtichel macht bekanntlich tiefe Einriſſe in eine Metallſcheibe, wenn man ihn auf dieſer fortbewegt, und eben ſo fuhr er fort zu ſchneiden, wenn die Metallſcheibe ſich mit geringerer Geſchwindigkeit, als 34 Fuß in 1 Secunde drehte; wurde die Geſchwindigkeit größer, ſo fing die Spitze des Grabſtichels an ſehr zu leiden und die Scheibe wenig zu verletzen, und bei 70 Fuß Geſchwindigkeit in 1 Secunde ward der Grabſtichel ſtark abgeſchliffen, während die weiche Eiſenſcheibe nur wenig mehr geritzt wurde. Auch hier iſt es die Schnelligkeit, womit die Theile der Scheibe an die Spitze des Grabſtichels oder überhaupt an die Theile des harten Körpers antreffen, wodurch dieſe fortgeriſſen werden; ihr feſter Zuſammenhang ſcheint hier ungefähr eben ſo wenig, wie bei dem raſch aus der Säule herausgeſchlagenen Damenſteine in Betrachtung zu kommen.

Zuſammenſetzung von Bewegungen.

Ich kehre von dieſen beſondern Erſcheinungen, die alle mehr oder minder dazu dienen, das Geſetz der Trägheit zu beſtätigen, zu allgemeinern Unterſuchungen über die Bewegungen der Körper zurück, und da wir unzählig oft beobachten, daß ein Körper zu gleicher Zeit mehrere urſprünglich von einander unabhängige Bewegungen vollendet, wie z. B. ein fallender Stein, der ſich in gerader Linie nach der Erde hin, zugleich aber mit derſelben im Weltraume fortbewegt, ſo fragen wir wohl billig zunächſt: was durch Vereinigung oder Zuſammenſetzung zweier verſchiedenen Bewegungen entſtehe, wobei wir uns vorläufig mit der Betrachtung gradliniger und gleichförmiger Bewegungen begnügen wollen. Denken Sie ſich, es rollte eine Kugel in einer Röhre dahin, ſo daß ſie in einer Sekunde die Länge der Röhre A B (I. Fig. 1ᵃ) durchliefe; zugleich würde aber die Röhre ſelbſt in der Richtung A C fortbewegt, ſo daß ſie am Ende der Sekunde die Stellung C D einnähme, ſo würde ſich die Kugel nach Verlauf dieſer Sekunde in D befinden, alſo an einem Punkte, wo ſie auch ſeyn würde, wenn ſie die beiden Bewegungen A B, B D nach einander vollendet hätte; der wirkliche Weg aber, den in dieſer Zeit die Kugel durchlaufen hat, wird durch die grade Verbindungslinie A D, die Diagonale des Parallelogrammes, angegeben. Von der Richtigkeit der letzten Behauptung kann man ſich leicht überzeugen, wenn man dieſelbe Zeichnung für beliebige kleinere Theile der Sekunde vollendet; um alſo den Weg zu erhalten, den ein Körper bei zwei zugleich vollendeten Bewegungen durchläuft, muß man die in gleichen Zeiten vermöge jeder einzelnen Bewegung durchlaufenen Linien A B, B D in den ihnen zukommenden Richtungen aneinanderſetzen und die Endpunkte A und D verbinden; oder man muß die beiden Bewegungen A B, A C wirklich von ihrem Anfangspunkte an aufzeichnen, ſie durch die Parallelen C D, B D zu einem Parallelogramme vervollſtändigen, und deſſen Diagonale A D zeichnen, welche den wirklich durchlaufenen Weg angiebt und alſo ſowohl Richtung als Geſchwindigkeit der zuſammengeſetzten Bewegung zeigt. Auf ganz ähnliche Art laſſen ſich drei und mehrere Bewegungen zuſammenſetzen; würde nämlich ein Körper zu den drei in gleichen Zeiten zu vollendenden Bewegungen A B, A C, A D (I. Fig. 1ᵇ) zugleich veranlaßt, ſo müßte man drei Linien von derſelben Richtung und Länge, auf deren Aufeinanderfolge übrigens nichts ankommt, wie A D, D E, E F an einander ſetzen; die Verbindungslinie A F giebt dann die wirklich eintretende Bewegung des Körpers an, ſelbſt wenn die zu vereinigenden Bewegungen gar nicht alle in derſelben Ebne ſtatt finden. Die Erfahrung iſt mit dieſen Schlüſſen in der vollkommenſten Uebereinſtimmung; ſo ſehen wir einen Kahn, der durch die Ruder quer über den Strom, aber durch den Strom ſelbſt ſeitwärts getreiben wird, in ſchiefer Richtung hinüber gelangen, und bei dem von einem Dampfwagen ſchief aufwärtsſteigenden Rauche ſetzen ſich im Allgemeinen drei Bewegungen zuſammen, indem der Rauch durch die Trägheit die Bewegung beibehält, welche der Wagen hatte, wozu dann noch ſein Aufwärtsſteigen und die Bewegung durch den Wind hinzukommt.

Wenn man das eben beſchriebene Mittel anwendet, um zwei oder drei vollkommen übereinſtimmende Bewegungen zuſammenzuſetzen, ſo erhält man eine Bewegung von derſelben Richtung und zwei oder dreimal ſo großer Geſchwindigkeit, und hiemit läßt ſich nun eine genaue Vergleichung auch zwiſchen den Urſachen der Bewegungen, den Kräften, auf folgende Art feſtſtellen. Die doppelte Kraft wird, wie ſich wohl von ſelbſt verſteht, eine doppelt ſo große Maſſe mit derſelben Geſchwindigkeit bewegen, als die einfache Kraft die einfache Maſſe, überhaupt wird bei gleicher hervorzubringender Geſchwindigkeit die Kraft der zu bewegenden Maſſe proportional ſeyn müſſen. Wenn dagegen die doppelte Kraft auf einen Körper von derſelben Maſſe wirkt als die einfache Kraft, ſo iſt es grade ſo gut, als ob der Körper zu gleicher Zeit zu zwei ſolchen Bewegungen angetrieben würde, wie ſie die einfache Kraft hervorzubringen im Stande iſt; die doppelte Kraft wird alſo bei gleicher bewegter Maſſe eine doppelt ſo große Geſchwindigkeit bewirken als die einfache Kraft, die dreifache Kraft eine dreifache Geſchwindigkeit u. ſ. f. Man ſieht hieraus, daß eine Kraft, welche ein Pfund in einer Sekunde durch ſechs Fuß forttreibt, mit einer andern gleich wirkt, die ſechs Pfunde durch einen Fuß fortbewegt, auch läßt ſich leicht hieraus ableiten, daß eine dritte Kraft, die zwei Pfunde in einer Sekunde durch drei Fuß bewegt, eben ſowohl mit jenen beiden übereinſtimmt; überhaupt wird die Größe einer Kraft weder durch die bewegte Maſſe noch durch die hervorgebrachte Geſchwindigkeit allein gemeſſen, ſondern durch das Product aus Maſſe und Geſchwindigkeit, welches man erhält, wenn man die Zahlen, die in Beziehung auf eine beſtimmte Einheit Maſſe und Geſchwindigkeit ausdrücken, multiplicirt.

Vierte Vorleſung.

Die Wirkungen der Kräfte äußern ſich nicht immer in entſtehenden Bewegungen; vielmehr können mehrere Kräfte ſo gegen einander wirken, daß ſie ihre Wirkungen gegenſeitig vernichten. Indem wir nun gewiß mit Recht vorausſetzen, daß zwei Kräfte gleich ſeyn müſſen, wenn ſich ihre Wirkungen vollkommen aufheben, bietet ſich uns ein neues und von dem in der vorigen Vorleſung erwähnten weſentlich verſchiedenes Mittel dar, Kräfte abzumeſſen.

Gleichgewicht.

Wo das Gewicht eines Körpers bloß einen Druck ausübt, wo die Bewegung gehindert wird, da iſt eine entgegenwirkende Kraft vorhanden, welche der Kraft der Schwere das Gleichgewicht hält. Meine Hand hält den Faden, an welchem der Körper befeſtiget iſt, und ſie muß einen Druck hinaufwärts ausüben, damit der Körper nicht ſinke; — offenbar iſt dieſer hinaufwärts ausgeübte Druck oder Zug eine Kraft, dem Gewichte des Körpers gleich, und ſo bietet ſich uns ein einfaches Mittel zu Beſtimmung gleicher

Kräfte dar. Aber nicht bloß auf Beſtimmung genau gleicher, ſondern auch auf Abmeſſung anderer in ſtreng angegebenem Verhältniſſe ſtehender Kräfte werden wir hier geleitet; denn wenn ich zu der Bleimaſſe, die ich ein Pfund nenne, eine zweite ganz gleiche füge, ſo wird niemand zweifeln, daß die Kraft, welche beide erhält, doppelt ſo groß iſt, als die, welche eine derſelben zu erhalten hinreichte. So erhellt die Möglichkeit, Kräfte, welche einander im Gleichgewichte erhalten, gegen einander abzumeſſen. Eine Anwendung dieſer Beſtimmungen zeigt die Federwaage. Eine elaſtiſche Feder, die durch ein Gewicht ausgedehnt wird, nimmt, ſelbſt bei oft wiederholtem Gebrauche, immer dieſelbe Ausdehnung bei gleichen ziehenden Kräften an, und wenn ich alſo Merkmale anbringe, wie groß dieſe Ausdehnung war, als die mir unter dem Namen eines Pfundes, zweier Pfunde u. ſ. w. gegebnen Gewichte angehängt wurden, ſo dient mir die Federwaage zu Beſtimmung des Gewichtes andrer Körper. Sie dient aber auch zu Abmeſſung andrer Kräfte. Halte ich die Federwaage am Aufhängepunkte mit der einen Hand, während die andre da angreift, wo das Gewicht hing, ſo ſehe ich an der Dehnung bis zu einem der bezeichneten Merkmale, wie viele Pfunde Kraft ich ſo auszuüben im Stande bin. Graf Rumford befeſtigte beim Anſpannen der Pferde die Federwaagen ſo zwiſchen den Zugriemen und dem Wagen, daß er die von jedem Pferde angewandte Kraft beim Fortziehen des Wagens daran beobachten konnte. Ein beim Nachlaſſen des Zuges in derjenigen Stellung, die er beim Zuge angenommen hatte, ſtehenbleibender Zeiger erlaubte, dieſe Beſtimmung auch nach vollendetem Experimente nachzuſehen, und ſo erhielt er die von ihm bekannt gemachten Reſultate, daß auf gepflaſterten Straßen die breitfelgigen Räder eine bedeutend geringere Ziehkraft, als die gewöhnlichen Räder, fordern, daß auf Steinpflaſter die Pferde beim ſtarken Trott faſt dreimal ſoviel Kraft, als beim langſamen Schritte, anwenden müſſen, daß hingegen auf einem recht ebnen, harten, ungepflaſterten Wege im Schritt und im Trott beinahe nur gleiche Kraft angewandt wird.

Eine ähnliche Abmeſſung der Kraft giebt Regnier's Dynamometer, ein elaſtiſcher metallener Reifen, deſſen eine Seite man unten anhängt, während man die andre Seite an einem bequem angebrachten Handgriffe mit den Händen aufwärts zieht, um die Kraft zu unterſuchen, die man in dieſer Stellung anwenden kann.

Dieſer einfachſte Fall von Vergleichung derjenigen Kräfte, die ſich im Gleichgewichte halten, leitet uns zu einer nähern Entwickelung aller Fälle des Gleichgewichtes, zur Statik feſter Körper.

Zuſammenſetzung der Kräfte.

Der Betrachtung des Gleichgewichts geht am beſten die allgemeinere Betrachtung des Zuſammenwirkens mehrerer Kräfte voraus, wir müſſen darum ſuchen, allgemeine Beſtimmungen zunächſt über eine ſolche Kraft zu erlangen, die ſo viel bewirkt als zwei andere zuſammen. Ein Beiſpiel eines ſolchen

Zuſammenwirkens bieten die beiden Gewichte A und B (I. Fig. 2) dar, welche an den über Rollen geleiteten Fäden beide gemeinſchaftlich das Gewicht C tragen. Wenn hier das Gewicht A 13 Pf., B 5 Pf. beträgt, ſo können wir es ſo anſehen, als ob an dem Punkte D nach den Richtungen D E und D F zwei Kräfte wirkten, die ſich wie 13 zu 5 verhalten, denn die Stärke dieſer Kräfte wird durch die Rollen nicht abgeändert; nach unſern frühern Betrachtungen muß alſo, wenn die eine Kraft allein eine Bewegung gleich der Linie D E bewirkt, die andre für ſich allein den Körper in gleicher Zeit durch D F bewegen. Da nun, wie wir vorausſetzen, beide Kräfte zugleich wirken, ſo müſſen ſich jene beide Bewegungen zuſammenſetzen, und der Körper muß, wenn ihn ſonſt nichts hindert, die Linie D G durchlaufen; beide Kräfte zuſammen bewirken alſo ſo viel als eine einzige Kraft bewirken würde, die den Körper in gleicher Zeit nach G bewegte, und die Richtung dieſer Kraft wird unmittelbar durch D G angegeben, ihre Stärke aber muß 15 Pfunde betragen, weil D G 15 von den Theilen enthielt, von welchen D E 13 und D F 5 enthält. Es wird demnach die Kraft, die ſo viel bewirkt als zwei andere zuſammengenommen, gefunden, wenn man die gegebenen Kräfte durch die Bewegungen, die ſie in gleichen Zeiten hervorbringen würden, d. h. durch grade Linien repräſentirt, die durch ihre Richtung die Richtung der Kraft, durch ihre Länge die Stärke der Kraft angeben, wenn man ferner dieſe Linien, z. B. A B und A C, zu einem Parallelogramm ergänzt und deſſen Diagonale A D zieht. Die ſo gefundene, durch die Diagonale ihrer Richtung und Stärke nach dargeſtellte Kraft heißt Mittelkraft oder Reſultirende, die gegebnen Kräfte heißen Seitenkräfte oder Componirende, der eben entwickelte Satz aber heißt der Satz vom Parallelogramme der Kräfte. Wenn man die Mittelkraft zweier gegebenen Kräfte zu beſtimmen weiß, ſo findet man die Kraft, die jenen beiden das Gleichgewicht hält, ſehr leicht; denn da ſtatt der gegebnen Kräfte die eine ebenſo viel bewirkende Mittelkraft geſetzt werden kann, ſo muß eine Kraft, welche den gegebnen das Gleichgewicht halten ſoll, auch der Mittelkraft das Gleichgewicht halten, alſo ihr gleich und von entgegengeſetzter Richtung ſeyn. In dem erörterten Beiſpiele bewirkten die beiden Gewichte ebenſoviel als eine lothrecht aufwärts gerichtete Kraft von 15 Pf.; eine Kraft, die ihnen das Gleichgewicht hielte, müßte alſo 15 Pf. betragen und lothrecht abwärts wirken; daraus ſieht man, daß ein Gewicht von 15 Pf. in D durch die beiden Gewichte A und B ſo eben erhalten wird.

Um mehrere Kräfte zuſammenzuſetzen, kann man entweder aus zweien derſelben die Mittelkraft beſtimmen, dieſe mit der dritten vereinigen und ſo bis zur letzten fortfahren; oder man kann auch, wenn die gegebenen Kräfte durch A B, A C, A D (I. Fig. 1ᵇ) dargeſtellt werden, Linien von derſelben Länge und Richtung wie A D, D E, E F an einander zeichnen, wo dann die Verbindungslinie des Anfangs- und Endpunktes A F die Mittelkraft darſtellt, während die grade entgegengeſetzt gerichtete Kraft F A diejenige ſeyn würde, welche den drei gegebenen das Gleichgewicht hält. Dieſe Verfahrungsarten gelten

auch dann noch, wenn nicht alle Kräfte in derſelben Ebne ſich befinden, und man kann daraus den Schluß ableiten, daß ſich für beliebig viele an einem Punkte angebrachte Kräfte immer eine Mittelkraft und auch eine Kraft, die allen das Gleichgewicht hält, finden läßt, ferner daß beliebig viele Kräfte, die ſich an einem Punkte das Gleichgewicht halten, wenn ſie durch Linien dargeſtellt und in beliebiger Aufeinanderfolge an einander gezeichnet werden, eine geſchloſſene Figur bilden müſſen. Beſonders vom letzten Geſetze erhellt der Grund auch auf andere Art leicht, denn Kräfte, die ihre Wirkungen gegenſeitig aufheben, müßten offenbar, wenn ſie nach einander wirkten, den Körper, den ſie bewegen, zuletzt genau an ſeinen erſten Platz zurückführen.

Eben ſo häufig aber als wir zwei Kräfte ſich zu einer gemeinſchaftlichen Wirkung vereinigen ſehen, eben ſo häufig haben wir Grund uns eine einzige Kraft in zwei Theile zerlegt zu denken, indem wir wahrnehmen, daß ſie nach zwei ganz verſchiedenen Richtungen zugleich Wirkungen hervorbringt. Wenn das Gewicht A von $6\frac{1}{2}$ Pf. (I. Fig. 3) durch das Gewicht B erhalten werden ſoll, während das andre Ende des Fadens in C feſtgeknüpft iſt, ſo entſteht die Frage, wie groß bei einer beſtimmten Stellung B ſeyn muß und wie viel der Haken C trägt. Hier iſt die Richtung der beiden Kräfte, nach denen wir fragen, bekannt, und auch ihre Mittelkraft, denn wir wiſſen, daß dieſe $6\frac{1}{2}$ Pf. betragen und lothrecht aufwärts gerichtet ſeyn muß; um daher die Größe der geſuchten Kräfte zu beſtimmen, ziehen wir von A aus die lothrechte, in $6\frac{1}{2}$ Theile getheilte Linie A D, ferner von D aus zwei Linien D E, D F parallel mit den Richtungen der geſuchten Kräfte, auf denen wir eben ſolche Theile als auf A D auftragen. Die Menge dieſer Theile giebt an, wie viele Pfunde Kraft nach der Richtung A F und wie viele nach der Richtung A E wirken müſſen. Sehr deutlich zeigt ſich hier, wie die Geſammtwirkung zweier Kräfte von dem Winkel abhängt, den ſie mit einander machen. Wenn die Fäden einen kleinen Winkel machen, iſt die Summe der nach A F und A E wirkenden Kräfte nur wenig größer als das Gewicht A; je größer der Winkel wird, deſto unvortheilhafter wirken jene beiden Kräfte, indem ſie ſich zum Theil aufheben, es iſt alſo in B nach und nach ein immer größeres Gewicht erforderlich; um endlich den Faden genau in eine grade Linie auszuſpannen, würde ſelbſt das größte Gewicht nicht ausreichen.

Beiſpiele von Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte.

Die Anwendungen, wo eine ſolche Zuſammenſetzung von Kräften, welche nach verſchiedenen Richtungen wirken, vorkommt, ſind unzählig. Wenn mehrere Menſchen an ſchief gezogenen Seilen den ſchweren Block, mit welchem man Pfähle einſchlägt, heben, ſo wird ein Theil der Kraft allemal unnütz angewandt, indem der ſeitwärts gerichtete Theil der angewandten Kräfte ſich gegenſeitig zerſtört, und dieß iſt deſto mehr der Fall, je weiter die Menſchen aus einander ſtehen, je mehr von der Verticallinie abweichend die Seile ſind. — Bei einem vor Anker liegenden Schiffe, das durch die Kraft des Stromes und

des Windes zugleich angetrieben wird, zeigt die Richtung des Ankertaues die Richtung der Mittelkraft aus jenen beiden. Wenn bei ungünſtigem Winde der Schiffer ſeine Segel ſo befeſtigt, daß ſie eine ſchiefe Richtung, wie A B gegen die Axe C D (I. Fig. 4) des Schiffes haben, ſo wirkt der Wind durch Zerlegung der von ihm angewandten Kraft vortheilhaft auf das Forttreiben des Schiffes. Wäre die Richtung des Windes ungefähr ſenkrecht auf die Richtung der Axe des Schiffes, ſo wie die der Linie E H, ſo würde von der nach E F wirkenden Kraft, die auf das ſchief geſtellte Segel A B ausgeübt wird, ein Theil am Segel vorbei, mit dem Segel parallel, verloren gehen, ein andrer Theil, den die Linie E I verhältnißmäßig darſtellt, zum Forttreiben des Segels und des Schiffes verwandt werden. Dieſe Richtung E I der Kraft, welche das Schiff von F nach G brächte, wäre immer ſchon vortheilhafter als die Richtung E H, die der Wind zu ertheilen ſtrebte; aber die Einwirkung des Windes wird dadurch noch vortheilhafter, daß das Schiff viel leichter nach der Richtung ſeiner Axe als nach der Seite beweglich iſt. Würde durch einen ſehr ſtarken Widerſtand die Seitenbewegung ganz gehemmt, ſo würde die nach F G zu, auf das Segel ſtoßende Kraft das Schiff ganz grade, obgleich nur mit geringer Gewalt, vorwärts treiben, und etwas Aehnliches erfolgt, da die Breite der Fläche, welche ſich dem Fortführen nach der Seite entgegenſtellt, einen viel erheblichern Widerſtand nach dieſer Richtung, als nach der Richtung der Axe, hervorbringt.

Eine ganz ähnliche Zerlegung der Kraft des Windes iſt es, welche den Papierdrachen der Kinder hebt. Bekanntlich iſt die breite Fläche, welche ſeinen Körper ausmacht, am einen Ende beſchwert, und das Band, woran er gehalten wird, befindet ſich am andern Ende; der Drache nimmt dadurch eine Stellung ungefähr wie A B an, während das Band ihn nach der Richtung A C feſthält. Der nach horizontaler Richtung D E aufſtoßende Wind ſtrebt die ganze Fläche fortzuführen, aber da das Band in C beinahe völlig feſtgehalten wird, ſo ſtreicht der Wind unter ihm weg und hebt ihn etwa in die Stellung a b hinauf; — daß es dabei auf ein geſchicktes Anhalten oder Verlängern des Bandes ankommt, wenn man ihn gut zum Steigen bringen will, iſt bekannt.

Bei der Fortſchaffung oder Hebung von Laſten, bei der Bewegung der Maſchinen und in andern Fällen kommt dieſe Zerlegung der Kraft bald vortheilhaft bald nachtheilig vor. Wenn man das Rad B D (I. Fig. 6) durch ein bei E angebrachtes Gewicht zur Umdrehung bringen wollte, ſo würde lange nicht das ganze Gewicht die Drehung bewirken. Das Gewicht nämlich bringt theils einen Druck auf den unterſtützten Mittelpunkt A hervor, theils trägt es zur Drehung bei. Betrüge das ganze Gewicht, nach der Richtung E F wirkend, 10 Pfund, ſo müßte man, um die Größe jener beiden Wirkungen zu beurtheilen, 10 Theile E f auf die Richtung der Schwerkraft auftragen, f e ſenkrecht auf den Halbmeſſer des Rades ziehen und nun E e, e f meſſen; nach der Angabe der Figur ſind dieſe Linien etwa $9\frac{1}{2}$ und 3, und alſo ſind es

nur 3 Pfund Kraft, mit welcher die Drehung befördert wird, denn 3 Pfund nach E g und 9½ Pfund nach E e wirkend würden nach E f einen Druck von 10 Pfunden hervorbringen; es kommen alſo nur 3 Pfund als nützlich wirkend in Betrachtung. So verhält es ſich bei den Treträdern, wo der Menſch in dem innern Rande des Rades bis nach H hinaufgeht und durch ſein Gewicht das Rad umtreibt. Eben ſo wirkt bei den oberſchlächtigen Waſſerrädern das Gewicht des in den Käſten befindlichen Waſſers. Die Schwierigkeit, eine ſehr große Laſt, ein ganzes Schiff zum Beiſpiel, zu heben, überwinden wir dadurch, daß wir die Laſt auf einer geneigten Ebne herauf ziehen. Hier iſt eine geringere Kraft zum Hinaufziehen nöthig, weil die Laſt P Q (I. Fig. 7^{a}) als aus zwei Kräften P S, P R zuſammengeſetzt anzuſehen und nur P S diejenige Kraft iſt, welcher man beim Hinaufwärtsziehen entgegen zu wirken hat. Die Gewalt, deren es bedarf, um die Laſt hinauf zu ziehen, iſt deſto kleiner, je geringer die Neigung der Ebne gegen den Horizont iſt, und zwar ſo, daß man, abgeſehen von der Reibung, nur ein Viertel ſo viel, als die Laſt wiegt, an Kraft zum Hinaufziehen anzuwenden braucht, wenn B C ein Viertel von A B iſt, und ſo in allen Fällen. Hiebei zeigt ſich uns noch eine andre in der Statik oder in der Lehre vom Gleichgewichte merkwürdige Regel. Soll die Laſt auf die Höhe B C gehoben werden, ſo kann dieß unmittelbar geſchehen, ſo daß auch die hebende Kraft keinen längeren Weg als B C durchläuft, aber dann muß auch die Kraft völlig der ganzen Laſt gleich ſeyn; dagegen kann man auf der ſchiefen Ebne A B mit einem Viertel der Kraft ausreichen, muß ſich aber dann gefallen laſſen, die Laſt durch den vierfachen Weg fortzuziehen, ehe ſie bis zu derſelben Höhe B C hinauf gelangt. Und ſo finden wir immer, daß eine geringere Kraft nur dadurch, daß ſie einen längeren Weg durchläuft, eben das ausrichten kann, was eine größere Kraft bei geringerem Wege bewirken würde. *Was man an Kraft gewinnt, verliert man an Geſchwindigkeit*, ſo daß es gar wohl Fälle geben kann, wo man lieber die vierfache Kraft anwendet, um die Laſt vertical hinaufwärts zu heben, damit dieſes ſchneller bewirkt werde.

Auf ganz ähnlichen Urſachen beruht die Verſtärkung der Kraft, die man durch Anwendung einer Schraube gewinnen kann. Man kann ſich den Schraubengang vorſtellen als eine ſchmale ſchiefe Ebene, die auf der Oberfläche eines runden Stabes fortläuft, und wenn die Schraube ſich durch eine irgendwo befeſtigte Schraubenmutter d. h. durch ein Loch bewegt, in welchem genau eben ſolche Gänge ausgeſchnitten ſind, ſo wirkt ein Gewicht, welches durch die Schraube gehoben wird, oder irgend ein anderer durch dieſelbe zu überwindender Widerſtand grade ſo wie eine Laſt, die auf der ſchiefen Ebene A B (I. Fig. 8) des hohl ausgeſchnittenen Ganges in die Höhe geſchoben wird. Man kann demnach das Gewicht mit deſto geringerer Kraft heben, je geringer die Steigung der ſchiefen Ebene A B iſt, d. h. je geringer die Breite eines einzelnen Schraubenganges in Vergleichung zu ſeinem Umfange iſt. Es macht in der Wirkung keinen Unterſchied, ob die Schraube ſelbſt oder die Schraubenmutter

beweglich iſt, und es kann ſo bei den verſchiedenartigſten Einrichtungen eine große Druckkraft durch verhältnißmäßig geringe Mittel hervorgebracht werden; jedoch muß man auch hier an der Geſchwindigkeit verlieren, womit die Wirkung hervorgeht. Denn während man mit der Hand, die die Schraube dreht, den Umfang derſelben einmal durchläuft, bewegt ſich das Ende der Schraube, womit die Wirkung hervorgebracht wird, nur um die geringe Breite eines Schraubenganges fort, und die Geſchwindigkeit wird daher in demſelben Verhältniſſe vermindert, in welchem die Kraft verſtärkt wird. Durch dieſen letzten Umſtand wird die Schraube da nützlich, wo es, wie bei aſtronomiſchen Inſtrumenten, darauf ankommt, durch ſehr langſame Fortrückung eine genaue Einſtellung zu bewirken, oder wo Längen ſehr genau gemeſſen werden ſollen, indem man die Umdrehungen zählt, die nöthig ſind, um das Ende einer ſehr feinen und genau gearbeiteten Schraube (Mikrometerſchraube) durch die zu meſſende Länge fortzubewegen.

Noch viele andere Werkzeuge geben zu ähnlichen Betrachtungen Veranlaſſung. Wenn wir mit dem Meſſer, deſſen Rücken nur ein Zwanzigſtel ſo breit als die Seite des Meſſers iſt, den Zuſammenhang des Holzes überwinden wollen, ſo brauchen wir nur ein Zwanzigſtel derjenigen Kraft, womit die Theile des Holzes zuſammenhängen, anzuwenden, um in das Holz einzudringen; aber unſere Hand muß auch das Meſſer um ſeine ganze Breite vorwärts drängen, während die widerſtehenden Holztheile nur um die Breite des Rückens von einander entfernt werden. Das Meſſer alſo und jeder Keil erlaubt uns mit deſto geringerer Kraft zu wirken, je ſchärfer er iſt, aber um deſto weiter müſſen wir auch hineindringen, um eine gewiſſe Trennung der Holztheile von einander zu erhalten.

Reibung.

Dieſe Regeln für das Gleichgewicht der Kräfte und für die zum Heben von Laſten erforderlichen Kräfte würden genau gültig ſeyn, wenn es keine Reibung (Friction) gäbe. Dann würde wirklich auf einer Ebne, deren Höhe ein Zwanzigſtel der Länge iſt, nicht bloß ein Pfund eine Laſt von 20 Pfunden im Gleichgewichte halten, ſondern eine Kraft, wenig größer als 1 Pfund, würde auch die 20 Pfunde wirklich heben. Aber die Reibung, die ja ſelbſt auf ganz horizontalem Boden uns das Fortziehen einer Laſt ſo ſehr erſchwert, bringt hier ſehr erhebliche Unterſchiede hervor. Daß dieſe Reibung nach Verſchiedenheit der Körper ſehr ungleich iſt, zum Beiſpiel ſtärker, wenn Holz ſich auf Holz reibt, ſchwächer wenn Metall ſich auf Metall reibt, daß ſehr harte Körper, die eine ſchöne Politur annehmen, am wenigſten Reibung geben, und daß man daher in recht vollkommenen Uhren die Stahl-Axen der Räder in diamantenen Pfannen gehen läßt, iſt bekannt. Ein Mittel, um die Größe der Reibung zu beſtimmen, findet ſich bei dem Gebrauche der ſchiefen Ebene. Man richte nämlich die geneigte Ebne A B (I. Fig. 7[b]) ſo ein, daß ſie ſich mit Hülfe einer langſam fortrückenden Schraube in B allmälig höher ſtellen läßt, und

ſetze, während die Laſt P, die dann keine Kugel ſeyn darf, auf der Ebne liegt, dieſes Erhöhen des Punktes B ſo lange fort, bis die Laſt herabzugleiten anfängt; findet man dann B C ein Viertel ſo groß als A B, ſo beträgt die Reibung ein Viertel der ganzen Laſt, denn da hier keine andre Kraft das Herabſinken hindert, ſo iſt die Reibung als zurückhaltende Kraft bei jeder niedrigeren Stellung noch mehr als hinreichend geweſen, die Laſt zu halten. Ein anderes Mittel, um die Reibung zu meſſen, iſt das, daß man den zu prüfenden Körper auf einer Ebene fortzieht und diejenige Kraft durch Gewichte beſtimmt, die nöthig iſt, um ihn in gleichförmiger Bewegung zu erhalten. Offenbar würde nämlich der Körper immer ſchneller und ſchneller ſich bewegen, wenn die angewandte Zugkraft größer wäre als der zu überwindende Widerſtand der Reibung; hingegen würde er eine verzögerte Bewegung annehmen und endlich liegen bleiben, wenn die Kraft zu klein wäre; in dem Falle aber wird er ſich gleichförmig bewegen, wenn Reibung und Zugkraft genau von gleicher Größe ſind. Beſonders dieſes letztern Mittels hat ſich Morin bei ſeinen ausführlichen Verſuchen über die gleitende Reibung bedient, und dadurch einerſeits die Größe der Reibung zwiſchen den mannigfaltigſten, beſonders in Maſchinen vorkommenden Materialien, beſtimmt; andrerſeits aber das allgemeine Reſultat feſtgeſtellt, das auch mit Coulomb's Verſuchen übereinſtimmt: daß die Reibung dem Drucke proportional, aber faſt unabhängig von der Größe der gleitenden Fläche und der Geſchwindigkeit der Bewegung iſt. Wenn man alſo zwei Körper von übrigens gleicher Beſchaffenheit, deren einer aber dreimal ſo ſchwer wäre als der andere, auf derſelben Ebne fortſchöbe, ſo würde die Reibung, die der erſte zu überwinden hätte, dreimal ſo viel betragen als die des zweiten, es würde aber faſt gleichgültig ſeyn, ob man den Körpern breite oder ſchmale Grundflächen gegeben hätte, und ob man ſie mit größerer oder geringerer Geſchwindigkeit bewegte. Bei der Reibung von Holz auf Holz kann die Reibung ein Drittel des Druckes und ſelbſt noch mehr betragen, wenn ſie nicht durch Schmiermittel vermindert wird; bei Kupfer auf Eiſen beträgt ſie etwa ein Sechstel, jedoch bei recht ſorgfältiger Politur weniger. Will man auf dieſe Reibung beim Gebrauche der ſchiefen Ebne Rückſicht nehmen, ſo müßte man bei dem in Fig. 7ᵇ gezeichneten Falle ſo rechnen. Da B C etwa 220 ſolche Theile enthält, deren 1000 auf A B gehen, ſo iſt die zu Erhaltung von 1000 Pfunden nöthige Kraft nach der vorigen Regel freilich nur 220 Pfund. Soll aber dieſe Laſt hinaufgezogen werden, ſo widerſteht zugleich die Reibung, die, wenn ſie ein Drittel des Druckes betrüge, hier über 300 Pfund wäre, und es bedürfte daher freilich gar keiner Kraft, um die Laſt auf der Ebne ruhend zu erhalten, indem die Reibung hiezu völlig ausreicht, aber um ſie hinaufzuziehen, wären über 500 Pfund Kraft erforderlich.

Außer der eben betrachteten gleitenden Reibung iſt noch die im Allgemeinen viel geringere Reibung der Beachtung werth, die beim Fortwälzen eines runden Körpers überwunden werden muß; denn ſie iſt das hauptſächlichſte unter den Hinderniſſen, die ſich der Bewegung unſers Fuhrwerks

entgegenſetzen. Auch die wälzende Reibung iſt ziemlich dem Drucke proportional, übrigens aber deſto kleiner, je größer bei demſelben Gewichte der Halbmeſſer des gewälzten Körpers iſt. Dieſe Beſtimmungen gelten allgemein; die beſondere Beſchaffenheit der Fläche aber, auf welcher der Körper rollt, bringt den weſentlichſten Unterſchied hervor, denn je härter und ebner dieſe iſt, deſto geringer wird der Eindruck ſeyn, den der rollende Körper hervorbringt, deſto kleiner alſo auch die Kraft, die nöthig iſt, um ihn in jedem Augenblick von Neuem aus dieſer Vertiefung emporzuheben. Der große Einfluß der Beſchaffenheit des Weges auf die Größe der anzuwendenden Kraft bei Fuhrwerken und der erſtaunliche Vortheil, der aus der Anwendung von Eiſenbahnen erwächſt, erklärt ſich hieraus vollkommen. Dieſer Vortheil iſt ſo bedeutend, daß nach Jeſſop's, Egen's und von Gerſtner's Angaben nur 4 bis 6 Pfund Zugkraft auf 1000 Pfund Laſt gerechnet zu werden brauchen, während auf Chauſſeen 50 bis 100 Pfund Kraft für dieſelbe Laſt erforderlich ſind, und daß alſo auf einer Eiſenbahn ein Pferd 10 bis 15 mal ſo viel zu ziehen vermag als auf Chauſſeen. Ich muß jedoch hiebei darauf aufmerkſam machen, daß dieſe erſtaunliche Verminderung der Reibung nur dann einen weſentlichen Nutzen bringt, wenn zugleich die Bahn faſt vollkommen horizontal liegt, und will dieß durch die Vergleichung einzelner Fälle deutlich zu machen ſuchen. Wenn ein Wagen von 10,000 Pf. Gewicht auf einer horizontalen Chauſſee und ein eben ſolcher auf einer horizontalen Eiſenbahn fortbewegt wird, ſo iſt dabei nur die Reibung zu überwinden, alſo im erſten Falle 500 Pf., im zweiten 5 Pf. Kraft anzuwenden; denn die Laſt des Wagens ſelbſt wird vollkommen durch die Unterlage getragen, und kommt nur inſofern in Betracht, als ſie die Reibung beſtimmt. Wenn dagegen die Chauſſee und die Eiſenbahn etwas geneigt ſind, ſo bleibt die Reibung faſt genau dieſelbe; es kommt jedoch ein gewiſſer Antheil der Laſt als Widerſtand hinzu, der, wie Sie ſich aus unſern frühern Betrachtungen erinnern, wirklich gehoben und alſo zu der Reibung addirt werden muß, wenn man jetzt die nöthige Zugkraft beſtimmen will. Dieſer Antheil der Laſt, der natürlich deſto größer wird, je größer die Steigung iſt, iſt auf der Chauſſee und auf der Eiſenbahn genau derſelbe, wenn beide gleich geneigt ſind, und wenn man die ſehr geringe Aenderung vernachläßigt, welche die Reibung auf wenig geneigten Bahnen erleidet, ſo findet man, wie Sie leicht überſehen, folgende Werthe für die bei verſchiedenen Steigungen nöthigen Zugkräfte:

Steigung auf 1000 Fuß	Nöthige Zugkraft für einen auf Chauſſeen	Wagen von 10000 Pf. Gew. auf Eiſenbahnen
0	500 Pfund	50 Pfund
1	500 + 10 = 1,02 × 500	50 + 10 = 1,2 × 50
2	500 + 20 = 1,04 × 500	50 + 20 = 1,4 × 50
5	500 + 50 = 1,1 × 500	50 + 50 = 2 × 50
10	500 + 100 = 1,2 × 500	50 + 100 = 3 × 50
20	500 + 200 = 1,4 × 500	50 + 200 = 5 × 50
50	500 + 500 = 2 × 500	50 + 500 = 11 × 50

Man ſieht hieraus, daß die nöthige Zugkraft auf einer Eiſenbahn zwar ſtets geringer ſeyn würde als auf einer Chauſſee von derſelben Steigung, daß ſie aber im Verhältniß zu der im günſtigſten Falle ausreichenden Kraft (50 Pf., 500 Pf.) bei der Eiſenbahn viel ſchneller wächſt, als bei der Chauſſee, und daß z. B. auf der Eiſenbahn unter den angenommenen Verhältniſſen ſchon bei einer Steigung von 5 F. auf 1000 die doppelte Zugkraft erfordert wird, auf einer Chauſſee dagegen erſt bei einer Steigung von 50 F. auf 1000.

Wie ſehr man aber auch in der Regel die Reibung zu vermindern ſtrebt, wie oft ſie ſich auch hindernd in den Weg ſtellt, ſo iſt ſie doch keineswegs immer eine nachtheilig wirkende Kraft. Wie es uns beim Hinaufgehen auf den ſanfteſten Abhang ergehen würde, wenn es keine Reibung gäbe, davon überzeugen wir uns, wenn wir beim Glatteiſe eine nur etwas geneigte Straße gehen wollen; wir finden dann nöthig, durch irgend ein künſtliches Mittel die faſt ganz fehlende Reibung zu verſtärken. Eben ſo finden wir es beim Fahren zuweilen nothwendig, durch Feſtbinden eines Rades oder durch Anlegen des Hemmſchuhes die wälzende Reibung in eine gleitende zu verwandeln, damit der Wagen nicht in zu ſchnelle Bewegung gerathe. Bei Schrauben, Keilen, Nägeln u. ſ. w. verzehrt die Reibung den größern Theil der auf ſie angewandten Kraft, daher wirkt ſie denn auch nützlich, wo jene Inſtrumente zum Befeſtigen von Gegenſtänden gebraucht werden, und ohne Reibung würden die Schrauben ſich von ſelbſt offen drehen und die Keile herausfallen. Selbſt auf den Eiſenbahnen wirkt die gleitende Reibung nützlich. Bei der erſten Anwendung der Dampfwagen hielt man es für nöthig, ſowohl die Räder des Dampfwagens als auch die Schienen der Bahn mit Zähnen zu verſehen, damit durch das Eingreifen der umgedrehten Räder der Wagen fortbewegt würde; bald zeigte es ſich jedoch, daß dieſe Zähne unnöthig ſeyen, da auch auf glatten Gleiſen das Schleifen der Räder durch die gleitende Reibung gehindert wird, die wegen des ungeheuren Gewichts der Dampfwagen mehr beträgt als die ganze angewandte Zugkraft; nur unter ungünſtigen Umſtänden, z. B. bei zu großen Steigungen, kann bisweilen der Fall eintreten, daß ſich die Triebräder ſchleifend umdrehen, ohne den Wagen zu bewegen. — Wäre keine Reibung, ſo würde jeder unbefeſtigte Gegenſtand ſchon durch den leiſeſten Wind fortgeführt werden, es würde kein Feſthalten zwiſchen den Fingern oder den flachen Endplatten einer Zange möglich ſeyn, ſondern Alles würde uns entgleitend aus den Händen fallen; wir bemerken dieß an ſehr glatten Körpern, die wir nur durch heftiges Zuſammendrücken der Finger erhalten, weil, wenn die Reibung vielleicht nur ein Zwölftel der drückenden Kraft beträgt, meine Finger mit 12 Pfund Kraft drücken müſſen, um 1 Pfund zu erhalten, ſtatt daß ich da, wo die Reibung ein Drittel der drückenden Kraft betrüge, mit drei Pfund Kraft ausreichte. Verſucht man vollends ein dreiſeitiges Glasprisma durch Erfaſſen zweier Seitenflächen aufzuheben, ſo findet man dies, wenn durch zwiſchengelegtes Papier das Ankleben an den Fingern verhütet wird, vollkommen unmöglich, weil die Reibung hier bei weitem nicht ausreicht, das Abgleiten der Finger zu hindern.

Flaſchenzug.

Es gäbe noch unzählige Beiſpiele von der nützlichen und von der nachtheiligen Wirkung der Reibung; aber ich breche dieſe Betrachtung ab, um noch die Wirkung der gebräuchlichſten Einrichtung des Flaſchenzuges zu erläutern, da auch dieſe auf der Zerlegung der Kräfte beruht. Wir ſahen früher ſchon, daß eine an zwei Fäden zugleich hängende Laſt ſich auf beide vertheilt, und in dem beſonderen Falle, wenn die beiden Fäden unter einander parallel ſind, hat jeder von beiden gerade die Hälfte zu tragen. Wenn daher das Gewicht P (II. Fig. 5) mit der Rolle C verbunden und das um die Rolle gehende Seil in A feſtgeknüpft iſt, indem an B die erhaltende Kraft aufwärts zieht, ſo braucht dieſe offenbar nur ſo groß als die Hälfte von P zu ſeyn, da der Haken in A auch die Hälfte trägt. Sind zwei verbundene Rollen F, G (II. Fig. 6) mittelſt ihres gemeinſchaftlichen Geſtells bei I befeſtigt und iſt an den beiden andern verbundenen Rollen K, L die Laſt P angebracht, ſo hängt dieſe, wenn das in M feſtgeknüpfte Seil, ſo wie M K N O Q R S T V zeigt, um die Rollen geht, an vier Seilen zugleich, und jedes trägt nur ein Viertel der Laſt; die nach V ziehende Kraft von 10 Pfunden erhält alſo in P ein Gewicht von 40 Pfunden. Soll aber die Laſt um 1 Fuß gehoben werden, ſo müſſen alle 4 Seile um 1 Fuß verkürzt werden, die in V angreifende Kraft muß alſo das Seil um 4 Fuß fortziehen, und der Gewinn an Kraft fordert einen in eben dem Verhältniſſe größern Aufwand an Geſchwindigkeit. Die Rollen bringen hier keine eigenthümliche Aenderung der Wirkung hervor, ſie dienen vielmehr nur, um die nothwendig ſehr beträchtliche Reibung möglichſt zu vermindern; außerdem muß ein nicht unbedeutender Theil der Kraft nutzlos verwandt werden um die Steifheit der Seile bei deren ſtarken Biegungen zu überwinden.

Fünfte Vorleſung.

Die Fälle des Gleichgewichts, mit welchen ich Sie neulich unterhielt, kamen alle darauf hinaus, daß zwei oder mehrere Kräfte ihre Wirkungen gegenſeitig aufhoben, indem ſie alle an einem übrigens vollkommen frei beweglichen Körper angebracht waren. Hieran ſchließen ſich ſehr natürlich diejenigen Fälle an, wo Kräfte ſich an einem Körper das Gleichgewicht halten, der ſich nur um einen feſtgehaltenen Unterſtützungspunkt oder um eine Axe drehen kann. Wenn an der um M drehbaren Scheibe (I. Fig. 9) eine einzige Kraft ſo wirken ſoll, daß doch keine Drehung eintritt, ſo muß ſie offenbar grade nach M zu oder von M abwärts gerichtet ſeyn, da jede neben M vielleicht in der Richtung C A wirkende Kraft offenbar durch nichts gehindert wird, auch eine Drehung in dieſem Sinne zu bewirken. Wenn in den Punkten A und B Kräfte angebracht ſind, die durch die Linien A D und B E dargeſtellt werden, ſo kann man, ohne die Wirkung dieſer Kräfte zu ändern, ſich ihre Angriffspunkte

nach dem Durchſchnittspunkte C verlegt denken. Denn wenn z. B. an einem Faden in der Richtung C D gezogen würde, ſo würde es gewiß auf die Länge des Fadens nicht ankommen und gleichgültig ſeyn, ob er in A oder C befeſtigt wäre, ſo lange nur ſeine Richtung genau dieſelbe bleibt. Zwei in C angebrachte Kräfte aber kann man dadurch auf eine zurückführen, daß man ihre Mittelkraft C F beſtimmt, und die Richtung dieſer Mittelkraft muß alſo, wenn Gleichgewicht eintreten ſoll, durch den Unterſtützungspunkt M gehen; ginge ſie neben demſelben vorbei, ſo würde nach derſelben Seite hin eine Umdrehung eintreten. Aus der Natur des Parallelogrammes läßt ſich beweiſen, daß nur dann die Mittelkraft durch M geht, wenn die ſenkrechten Abſtände der Kräfte vom Drehungspunkte oder die Linien M J und M R ſich umgekehrt zu einander verhalten wie die Kräfte ſelbſt; dieß iſt alſo die Bedingung des Gleichgewichts, und da in unſrem Beiſpiele K M ſich zu J M verhält wie 2 : 3, ſo würde die anderthalbfache Kraft in A der einfachen Kraft in B das Gleichgewicht halten. Daſſelbe Geſetz kann man auch ſo anwenden, daß man, wenn die Kräfte und ihre Entfernungen vom Drehungspunkte (M J, M K) in übereinſtimmenden Maaßen ausgedrückt ſind, jede Kraft mit ihrer Entfernung multiplicirt; fallen dann dieſe Producte, die man Momente der Kräfte nennt, gleich aus, ſo findet Gleichgewicht ſtatt. Eine einzige leicht zu überſehende Einſchränkung muß hierbei nur gemacht werden, nämlich die, daß nur ſolche zwei Kräfte ſich das Gleichgewicht halten können, die, wenn ſie jede allein wirkten, entgegengeſetzte Drehungen hervorbringen würden; übrigens gilt das Geſetz für jeden Winkel, den die Kräfte mit einander machen mögen, und ſelbſt dann, wenn ſie parallel ſind, auch iſt die Geſtalt des drehbaren Körpers, an dem die Kräfte wirken, ganz gleichgültig.

Hebel.

Dieſe Betrachtungen finden unmittelbar ihre Anwendung beim Hebel, worunter wir eine um einen Unterſtützungspunkt drehbare Stange verſtehen wollen, auf deren Biegſamkeit und Schwere wir vorläufig keine Rückſicht nehmen und die durch zwei Kräfte nach entgegengeſetzten Richtungen zur Drehung angetrieben wird. Die Arme des Hebels ſind die beiden Theile der Stange, die zwiſchen dem Unterſtützungspunkte und dem Angriffspunkte einer Kraft liegen; man unterſcheidet nach ihrer gleichen oder ungleichen Länge gleicharmige und ungleicharmige Hebel. Wenn zwei parallele Kräfte an einem gleicharmigen Hebel im Gleichgewicht ſeyn ſollen, ſo müſſen ſie unter einander gleich ſeyn; an einem ungleicharmigen Hebel aber müſſen ſie ſich umgekehrt zu einander verhalten wie die Längen der Arme, an denen ſie wirken, ſo daß z. B. ein Gewicht von 2 Pfunden an einem Hebelarme von 10 Zoll Länge einem Gewichte von 5 Pfunden an einem Hebelarme von 4 Zoll das Gleichgewicht hält ($10 \times 2 = 5 \times 4$). Dieſes Geſetz iſt eine leichte Folgerung aus dem vorhin bewieſenen allgemeineren Satze, denn die auf die Richtungen der Kräfte gefällten Senkrechten, die wir dort verglichen, fallen hier entweder mit

den Hebelarmen ſelbſt zuſammen, oder haben wenigſtens bei ſchiefen Stellungen des Hebels daſſelbe Verhältniß unter einander; daſſelbe Geſetz muß darum auch noch gelten, wenn die Angriffspunkte beider, dann entgegengeſetzt gerichteten Kräfte auf einer und derſelben Seite des Unterſtützungspunktes liegen, in welchem Falle man den Hebel einen einarmigen oder Wurfhebel nennt (I. Fig. 10). Wenn endlich an einem gewöhnlichen Hebel zwei nicht parallele Kräfte oder an einem Winkelhebel (I. Fig. 11), deſſen Arme am Unterſtützungspunkte C einen Winkel bilden, zwei beliebige, jedoch in der Ebne der Drehung liegende Kräfte im Gleichgewichte ſeyn ſollen, ſo müſſen ſie ſich nicht umgekehrt wie die Hebelarme ſelbſt, ſondern umgekehrt wie die Linien C J und C G verhalten, welche vom Unterſtützungspunkte aus auf die Richtungen der in A und B angebrachten Kräfte A H und B D gefällt ſind. Daß mit jeder Verſtärkung der Kraft, die durch einen ungleicharmigen Hebel erreicht werden kann, nothwendig eine Verminderung der Geſchwindigkeit bei eintretender Bewegung zuſammenhängt, erhellt am beſten aus der Betrachtung eines graden Hebels, denn wenn C A dreimal ſo lang als C B iſt (I. Fig. 10, 12), ſo durchläuft A bei jeder Drehung um C einen dreimal ſo langen Weg als B, zugleich braucht aber die Kraft in A nur dem dritten Theile der in B angewandten gleich zu ſeyn. Ich kann alſo mit einem paſſend gewählten Hebel 20 Pfund durch 1 Pfund Kraft heben, muß mir aber gefallen laſſen, mit dieſer Kraft einen 20mal ſo langen Weg zu durchlaufen, als der iſt, der durch das Gewicht von 20 Pfund zurückgelegt wird.

Anwendungen des Hebels.

Von den unzähligen Anwendungen des Hebels will ich nur einige Beiſpiele anführen. — Wenn wir mit geringer Gewalt eine erhebliche Laſt heben wollen, ſo geben wir der Stange A B (I. Fig. 13) ihren Unterſtützungspunkt in C ſo, daß die Laſt D in möglichſt geringer Entfernung wirke, der Punkt A hingegen, wo die Kraft angreifen ſoll, erheblich entfernt vom Unterſtützungspunkte liege. Daß B C A hier ein Hebel iſt, erhellt wohl von ſelbſt, und daß, wenn A C zehnmal ſo groß als D C iſt, die Kraft in A nur ein Zehntel der Laſt zu betragen brauche, erhellt ebenfalls. Aber nicht da allein, wo eine auf einer Unterlage ruhende Stange in der einfachſten Form des Hebels wirkſam iſt, bedienen wir uns des Hebels, ſondern manche andere Werkzeuge ſind ebenfalls Hebel. Die Zange, mit welcher man recht faſſen will, hat lange Handgriffe, ſtatt daß der zu faſſende Gegenſtand mit kürzern Armen gefaßt wird; hier iſt der Drehungspunkt als Unterlage des Hebels anzuſehen, und zwei einander entgegen drückende Hebel üben nahe bei dieſem Drehungspunkte eine große Gewalt aus, während die in einem entferntern Punkte wirkende Kraft nur gering zu ſeyn braucht. Die Scheeren wirken eben ſo. Jeder Schlüſſel, bei dem der Bart das Schloß faßt, während die Hand den obern Ring dreht, iſt ein Hebel. Dieſes wiſſen wir alle ſo wohl, daß wir, um den Schlüſſel mit mehr Gewalt zu drehen, uns gern, obgleich oft zum Nachtheil des Schloſſes und Schlüſſels, eines längern, durch den

Ring geſteckten Stabes bedienen. Die breitern Handgriffe an unſeren Bohrern und Schrauben haben eben den Zweck, und da hier immer der Widerſtand ſehr nahe an der Drehungsaxe wirkt, ſo leiſtet eine geringe Gewalt an einem breiten Handgriffe ſehr viel.

Ein ſeiner Nützlichkeit wegen intereſſantes Beiſpiel bietet die ſeit einigen Jahren in Gebrauch gekommene Kniepreſſe dar, deren Wirkung zum Theil auf dem Geſetz des Hebels, zum Theil auf der Zerlegung der Kräfte beruht, und die ich beſonders deswegen beſchreiben will, um wenigſtens an einem Beiſpiele die Anwendung eines ſehr allgemeinen mechaniſchen Princips zu erläutern. Die wichtigſten Theile der Preſſe ſind ein Hebel A B (I. Fig. 14ᵃ), der um A gedreht werden kann, und an dem bei C eine Verbindungsſtange ſo befeſtigt iſt, daß ſie ſich um C und D drehen und alſo bei einer abwärts gerichteten Bewegung des Hebels auf dem Punkte D eine abwärts gehende Bewegung ertheilen kann. Damit ſich dieſer Punkt D nicht zugleich ſeitwärts, ſondern nur vertical abwärts bewegen könne, iſt der Querbalken E G angebracht, welcher bei E und G an den Pfoſten des Geſtells auf- und abgleitet. Der Gebrauch iſt, wie Sie leicht ſehen, der, daß man unter E G den zu preſſenden Körper bringt und den Hebel A B mit der Hand oder durch irgend ein ſtärkeres Mittel niederdrückt; um aber die hervorgehende Verſtärkung der angewendeten Kraft zu ſchätzen, kann man entweder die Sätze vom Hebel und vom Parallelogramme der Kräfte, oder auch das Geſetz anwenden, das Sie jetzt wohl als begründet anſehen werden: daß bei ſolchen Vorrichtungen, die die Verſtärkung einer Kraft bezwecken, immer genau ſo viel an Geſchwindigkeit verloren als an Kraft gewonnen wird. Vergleichen wir nämlich in einer einfachen Figur (I. Fig. 14ᵇ), bei welcher die Stücke A C, B C, C D einander gleich angenommen ſind, die Stellungen der eben ſo wie vorhin bezeichneten Theile in verſchiedenen Zeitpunkten, ſo finden wir, daß D nach und nach immer weniger fortrückt, während B durch immer gleiche Bogen fortgeführt wird; wir können daher nach dem erwähnten Geſetze ſchließen, daß die bei D ausgeübte Druckkraft in demſelben Maaße zunimmt, als die Geſchwindigkeit des Punktes D abnimmt, daß man alſo mit derſelben angewandten Kraft immer größere und größere Wirkungen hervorbringen wird, je mehr ſich der Hebel A B der verticalen Lage nähert.[1] Dieſe Eigenthümlichkeit in der Wirkung der Preſſe iſt beſonders da von großem Nutzen, wo der gepreßte Gegenſtand, wie es ſo häufig der Fall iſt, durch das Preſſen ſelbſt eine größere Feſtigkeit erlangt, und daher deſto größere Kraft zur weiteren Preſſung erfordert, je mehr er ſchon zuſammengedrückt iſt.

[1] Durch Rechnung ergiebt ſich für die angenommenen Verhältniſſe, daß ſich die Druckkraft bei D zu der angewandten Kraft bei B in allen Stellungen verhält, wie die Linie A B zu der Entfernung B D. Hieraus ſieht man mit größerer Schärfe, daß die Verſtärkung in demſelben Maaße zunimmt, in welchem der Abſtand der Punkte B und D abnimmt, und daß im letzten Augenblicke dieſe Verſtärkung eigentlich bis ins Unendliche wächſt.

Auf eine dem Weſen nach ähnliche Zerlegung der Kraft beruht der ſtarke Druck, den Bleche beim Hindurchziehen zwiſchen zwei Walzen erfahren.

Die Geſetze der Wirkung von Kräften am Hebel geben uns ferner Mittel, die große Gewalt zu berechnen, mit welcher die Muskeln zur Bewegung der Glieder wirken. Bei der Anordnung der Muskeln war der Zweck nicht, mit kleiner Kraft große Laſten zu heben, ſondern er beſteht offenbar darin, die Kraft ſo anzuwenden, daß durch ſehr geringe Verkürzung oder Verlängerung des dieſe Kraft ausübenden Muskels die Glieder einen bedeutenden Weg durchlaufen, ſo wie es zu dem Zwecke ihrer Thätigkeit nöthig iſt. Aus dieſem Grunde ſind die Muskeln ſehr nahe am Drehungspunkte des Hebels angebracht, und zugleich ſo, daß ſie den Gelenken kein dickes und unförmliches Anſehen geben; aber eben deshalb mußten ſie eine große Spannung ertragen können, und die geheimnißvolle Kraft der Seele, die Muskeln zu verlängern oder zu verkürzen, mußte ſich in ihnen ſo mächtig zeigen, wie ich es ſogleich angeben will. Borelli giebt über die Muskeln des Armes, welche am Elbogen die Biegung des Gelenkes bewirken, Folgendes an. Wenn man den Arm ſo ausſtreckt (I. Fig. 15^{a}), daß eine Beugung des Elbogens den vordern Theil des Armes hinaufwärts bewegen würde, ſo kann ein rüſtiger Mann an den Fingerſpitzen eine Laſt von 26 Pfunden tragen, zu denen man noch wegen des Gewichtes des Vorderarmes 2 Pfund hinzurechnen muß. Bei dieſer Lage des Armes ſind es zwei Muskeln, der musculus biceps und der musculus brachieus, welche das Gewicht erhalten; dieſe Muskeln ziehen in einer ſehr ſchiefen Richtung, und wirken daher ſo wie (I. Fig. 15^{b}) eine nach f e an der Rolle d f ziehende Kraft, welche den Punkt f nur um einen Zoll fortzubewegen braucht, während der 20mal ſo entfernte Punkt D zwanzig Zoll durchläuft. Soll alſo in D eine Kraft von 28 Pfund erhalten werden, ſo muß in f, da nach Borelli das Gewicht zwanzigmal ſo entfernt als der Muskel wirkte, eine zwanzigmal ſo große Kraft von 560 Pfunden wirken, und ſo groß rechnet Borelli die von beiden Muskeln gemeinſchaftlich ausgeübte Kraft. Hält man dagegen den Oberarm vertical herabwärts, den Vorderarm horizontal, ſo daß die innere Seite der Hand aufwärts gekehrt iſt, ſo kann man an den Fingerſpitzen 33 Pfund tragen, alſo etwa 35 Pfund, wenn man das Gewicht des Vorderarms mit rechnet; dieß rührt daher, weil die Muskeln jetzt in etwas vortheilhafterer Lage, als vorhin, ziehen. Borelli rechnet aus, wie viel jeder der beiden Muskeln einzeln zu tragen vermag, indem er bemerkt, daß bei ſtark zurückgebeugtem Oberarme, wenn der (alsdann einen ſpitzen Winkel mit dem Oberarme bildende) Vorderarm horizontal gehalten wird, der musculus brachieus faſt gar nicht zu Erhaltung der Laſt, die man dann an den Fingern trägt, mitwirke; in dieſer Lage könne man 25 Pfund tragen und die Wirkung des Muskels ſey nun ſo vortheilhaft, daß ſie nur zwölfmal ſo groß, als die zu haltende Laſt, zu ſeyn brauche; dieſer Muskel allein beſitze alſo 300 Pfund Kraft. Auf eben ſolchen Gründen beruhet folgende Berechnung Borelli's. Wenn ein Mann, der ſelbſt 180 Pfund wiegt, noch 200 Pfund auf dem Nacken trägt und, während der eine Fuß gehoben wird, mit etwas gebogenem Knie ganz auf dem andern Fuße ruht, ſo üben die an der convexen

Rundung des Kniees aufliegenden Muskeln eine Kraft von 2280 Pfunden aus.

Die Berechnung, welche Kraft die Muskeln beim Zerbeißen einer harten Nuß anwenden, beruht ebenſo auf den Geſetzen des Hebels, und man ſetzt dabei voraus, daß man das Gewicht, unter deſſen Laſt die Nuß zerdrückt wird, kenne. Daß man das Tragen eines Gewichtes noch ſchwieriger mache, wenn man es an einem in der Hand gehaltenen Stabe mit ausgeſtrecktem Arme hält, läßt ſich auch leicht überſehen. Hier wird nämlich erſtlich der Hebelarm, an welchem das Gewicht wirkt, durch die Länge des Stabes vergrößert, und die in gleicher Entfernung vom Drehungspunkte wirkende Muskelkraft muß daher größer ſeyn; aber zweitens muß ich noch eine ganz neue Kraft anwenden, indem ich den auf dem Zeigefinger liegenden Stab mit dem Daumen niederdrücke und ſo meinen Zeigefinger oder einen andern Theil der Hand zum Unterſtützungspunkte des Hebels, den der Stab darſtellt, mache; hier muß der Daumen, wenn 1 Pfund am Stabe hängend zehnmal ſo entfernt als der Daumen vom Zeigefinger angebracht iſt, 10 Pfund Kraft ausüben und der Zeigefinger den Druck von 11 Pfunden tragen.

Relative Feſtigkeit.

Eine andre Anwendung der Lehre vom Hebel bietet die Beſtimmung des Widerſtandes dar, den wir bei dem Zerbrechen feſter Körper finden. Die abſolute Feſtigkeit lernten wir durch die Kraft, welche zum Zerreißen des Körpers nöthig iſt, kennen, dagegen nennen wir relative Feſtigkeit denjenigen Widerſtand des Zuſammenhanges, der ſich dem Zerbrechen entgegenſetzt. Wenn ein Stab oder Balken in C unterſtützt, in A und B aber mit Gewichten hinreichend beſchwert wird, ſo zerbricht er, und es erhellt nun erſtlich, daß das Gewicht B oder A mit deſto größerer Gewalt wirkt, je entfernter von der Unterlage C (I. Fig. 16) es angebracht iſt, ſo daß in der doppelt ſo großen Entfernung ein halb ſo großes Gewicht eben die Wirkung leiſten würde. Die relative Feſtigkeit iſt daher der Länge umgekehrt proportional; dieß wiſſen wir ſehr gut, und unternehmen es eher, einen längern Stab, als einen kurzen eben ſo dicken zu zerbrechen. Daß die relative Feſtigkeit zweitens der Menge der zu zerreißenden Theilchen gemäß wächſt, iſt offenbar, aber wenn in E ein Theilchen eben ſoviel Gewalt des abſoluten Zuſammenhanges beſitzt als ein zweites in D, ſo leiſtet das in D viel größern Widerſtand, weil eine ſo entfernt von C wirkende Kraft wirkſamer iſt. Entſtände alſo der Widerſtand auch nur aus dem Zuſammenhange der drei Theilchen D, E, F im einen, d, e, f im andern Balken, ſo wäre doch für den erſtern eine doppelt ſo große Kraft zum Zerbrechen nöthig, wenn D doppelt ſo weit als d, E doppelt ſo weit als e, F doppelt ſo weit als f von dem Drehungspunkte entfernt wäre; da nun im doppelt ſo hohen Balken zugleich doppelt ſo viele Theilchen über einander liegen, und jedes mit doppelter Gewalt wirkt, ſo iſt die relative Feſtigkeit viermal ſo groß beim doppelt ſo hohen, neunmal ſo groß beim

dreimal ſo hohen, hundertmal ſo groß beim zehnmal ſo hohen Balken. Hierauf beruht die große Feſtigkeit eines ſchmalen, in die hohe Kante geſtellten Bretes; wäre es zum Beiſpiel 2 Zoll dick und 12 Zoll breit, ſo käme bei flacher Lage nur 2 als Höhe vor und 2 mal 2 mal 12 = 48 gäbe die Feſtigkeit in Vergleichung gegen einen 1 Zoll breiten und 1 Zoll dicken Stab an, das heißt, jenes fordert 48mal ſo viel Kraft zum Zerbrechen bei gleicher Länge, als dieſer; aber wenn 12 die Höhe iſt und 2 die Breite, ſo hat man dagegen 12 mal 12 mal 2 = 288 als Ausdruck der Feſtigkeit. Ein Bret von $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke und 12 Zoll Breite würden wir ziemlich leicht zerbrechen, wenn es auf der breiten Seite aufliegt, aber es iſt eine 24 mal ſo große Kraft dazu nöthig, wenn es auf der hohen Kante liegt.

Die Frage, wie man aus dem cylindriſchen Baume den ſtärkſten Balken ſchneidet, gehört auch hieher. Der Querſchnitt des Balkens muß etwas höher als breit ſeyn, das iſt offenbar; die genaue Beſtimmung könnte ein guter Rechner durch einiges Probiren, welche zuſammengehörige Breiten und Höhen am meiſten Stärke geben, finden; die Breite $\frac{58}{100}$ des Durchmeſſers und die Höhe $\frac{82}{100}$ des Durchmeſſers würden ſich als die vortheilhafteſten zeigen. Kommt es darauf an, einem hölzernen oder metallenen Balken bei geringem Gewichte doch eine möglichſt große relative Feſtigkeit zu ſichern, ſo iſt es zweckmäßig, ihm eine Geſtalt wie **A B** (**I. Fig. 17**) zu geben oder einen hohlen Cylinder anzuwenden, weil bei dieſen Formen die ganze Maſſe des Balkens ſich hauptſächlich an den Punkten befindet, wo ſie für die relative Feſtigkeit am vortheilhafteſten wirkt. Man erlangt ſo eine faſt eben ſo große Feſtigkeit, als wenn der ganze innere Raum auch mit der Maſſe des Balkens angefüllt wäre.

Die Holzverbindungen, wo ſchief ſtützende Stücke die horizontalen Balken tragen, die Verbindung von Balken, die man Hängewerke nennt, und ähnliche beruhen gleichfalls theils auf einer Zerlegung der Kräfte, theils auf dem Geſetze der am Hebel wirkenden Kräfte.

Die Feſtigkeit kann ſich noch auf zwei verſchiedene Arten äußern, indem ſie ſich dem Zerdrücken oder dem Drehen, z. B. bei Fäden und Dräthen, entgegenſetzt. Die erſte Art der Feſtigkeit, die ſogenannte rückwirkende Feſtigkeit, iſt faſt nur bei Säulen und ähnlichen Unterſtützungsmitteln von Wichtigkeit, wo man ſie dem Querſchnitt direkt, der Länge umgekehrt proportional findet. Die Drehungsfeſtigkeit von Fäden und Dräthen kommt dagegen bei vielen Inſtrumenten in Frage; ſie nimmt, ſo lange die Elaſticitätsgränze nicht überſchritten wird, in demſelben Maaße zu, in welchem die Drehung fortſchreitet, ferner iſt ſie der Länge des Fadens umgekehrt proportional, und wächſt mit der Dicke des Fadens ſehr raſch, ſo daß nach Coulomb's Angaben ein doppelt ſo dicker Drath eine ſechzehnmal ſo große Drehungsfeſtigkeit beſitzt.

Rad an der Welle und Räderwerk.

Noch eine, viele Fälle umfaſſende Anwendung der Geſetze des Hebels bietet das Rad an der Welle und das Räderwerk dar. Man verſteht unter

dem Rade an der Welle diejenige Verbindung, wo die Laſt am Umfange eines Cylinders A B (I. Fig. 18[a]) von kleinerem Durchmeſſer zieht, die Kraft dagegen an einem Rade E D von größerem Durchmeſſer; hier ſteigt die aufgezogne Laſt um einen Umfang der Welle A B, während die Kraft ſoviel, als der Umfang des Rades beträgt, fortziehen muß, und die Kraft iſt wieder in eben dem Maaße geringer, als der durchlaufene oder zu durchlaufende Weg größer iſt. Das Rad an der Welle ordnet ſich als ein beſonders einfacher Fall dem allgemeinen, kurz zuvor für alle drehbaren Körper aufgeſtellten Geſetze unter, denn da die auf die Richtungen der Kräfte ſenkrecht gezogenen Linien C E, C B in allen Stellungen zugleich die Halbmeſſer des Rades und der Welle ſind, ſo folgt daraus, daß ſich die Kraft am Umfange des Rades zu der an der Welle wirkenden verhalten muß, wie der Halbmeſſer der Welle zum Halbmeſſer des Rades. Auch bei Verbindungen mehrerer Räder, die in Maſchinen, Uhren u. ſ. w. entweder dazu dienen, mit Aufopferung von Geſchwindigkeit die Kraft zu verſtärken, oder auch ohne Rückſicht auf die nöthige Kraft nur die Geſchwindigkeit einer Bewegung abzuändern, iſt die Wirkung eben ſo zu beurtheilen. Zieht z. B. die Laſt P an der Axe C (I. Fig. 18[b]), ſo würde ein gezähntes Rad von zehnmal ſo großem Halbmeſſer an ſeinem Umfange nur eine Kraft ein Zehntel ſo groß als P fordern; die anzubringende Kraft wirkt aber hier nicht unmittelbar, ſondern mit Hülfe eines zweiten Rades, und wenn hier wieder D F zehnmal ſo groß als D E iſt, ſo übt eine Kraft von einem Pfunde, in F wirkend, auf E einen Druck von 10 Pfunden aus, nnd dieſer Druck von 10 Pfunden auf die Zähne des erſten Rades hält 100 Pfunden am Umfange der Welle C das Gleichgewicht. Hier iſt alſo 1 Pfund in F hinreichend, um 100 Pfunden in C das Gleichgewicht zu halten; aber indem das Gewicht P ſich um ſoviel hebt, als der Umfang der Welle C beträgt, muß die Kraft F das Seil, woran ſie zieht, hundertmal ſo weit fortziehen; es dreht ſich nämlich unterdeß das Rad C G, deſſen Umfang zehnmal ſo groß als der Umfang ſeiner Welle iſt, auch ein ganzes Mal, und da jeder Zahn dieſes Rades auch einen Zahn an E D mitnimmt, ſo dreht ſich das kleine gezähnte Rad E D eben ſo ſchnell fort, und die Geſchwindigkeit am Umfange F iſt wieder 10mal ſo groß als in E, das iſt 100mal ſo groß, als die Geſchwindigkeit der Laſt. Man wendet das gezähnte Rad oft mit einer aus wenigen Schraubengängen beſtehenden Schraube verbunden an. Der zwiſchen die Zähne eingreifende Schraubengang ſchiebt bei ſeiner Drehung den einen Zahn um ſoviel vorwärts, als der Abſtand der Schraubengänge von einander beträgt, und indem dieſer vorbei gerückt iſt, wird ein zweiter Zahn fortgetrieben. Weil hier dieſelben Schraubengänge immer aufs Neue wirken, ſo nennt man die Schraube eine Schraube ohne Ende. Auch eine Verbindung von Rädern und Hebeln, wie ſie dann ſtatt findet, wenn Räder durch Kurbeln oder Krummzapfen umgedreht werden, würde hier zu betrachten ſeyn; in wiefern aber hier ein Unterſchied dadurch bedingt wird, daß die an einer Kurbel wirkende Kraft nach und nach unter andern Winkeln, alſo mit verſchiedenem Momente, und ſogar an zwei

gegenüberliegenden Punkten (den todten Punkten) gar nicht wirkt, iſt nach dem Vorhergehenden leicht zu beurtheilen.

Moment der Reibung.

Wenn man die Welle A B des Rades C D (I. Fig. 18*) auf einer Unterlage ruhen läßt, ſo findet die Reibung an dieſem Umfange ſtatt; die Reibung ſelbſt wird nicht geringer, wenn man die Welle auf dem dünnen Zapfen C ruhen läßt, aber jetzt wirkt der Widerſtand der Reibung ſehr nahe am Mittelpunkte und hat daher ein geringes Moment; wäre der Zapfen nur ein Zehntel ſo dick als die Welle, ſo würde die Reibung jetzt mit einer nur ein Zehntel ſo großen Kraft, als vorhin, überwunden werden. Aus dieſem Grunde drehen ſich die auf einem dünnen Fuße laufenden Kreiſel ſo ungemein lange. Sie leiden allerdings an dem Fußpunkte eine Reibung, aber dieſe wirkt ſo nahe an der Drehungsaxe, daß ſie nur in geringem Grade zu Verminderung der Bewegung beitragen kann, und daher kommt es, daß die wenig gehinderte Bewegung, ſo wie die Trägheit es fordert, ſehr lange faſt ungeändert fortdauert. Daß man deshalb die Reibung allemal gern an dünnen Zapfen wirken läßt und dieſe am liebſten von hartem Stahle macht, verſteht ſich nun von ſelbſt. Aber auch der Nutzen der Reibungsrollen oder Frictionsrollen läßt ſich überſehen. Wenn die Welle C D (II. Fig. 1) auf einer feſten Ebne A aufliegt, ſo übt die Reibung einen gewiſſen Widerſtand aus; liegt die Welle aber auf zwei um dünne Zapfen ſich drehenden Rollen E, F, ſo vermindert ſich dieſer Widerſtand beinahe in dem Verhältniſſe, wie der Durchmeſſer der Zapfen geringer als der Durchmeſſer der Rollen iſt: — beinahe genau, weil die wälzende Reibung, die am Umfange der Rollen entſteht, nur ſehr gering iſt. — Hierauf beruht der Vortheil hoher Wagenräder, deren Durchmeſſer nämlich in Vergleichung gegen die eben ſo dick bleibende Axe größer iſt.

Brems-Dynamometer.

Noch gehört hieher die Beſchreibung eines Inſtrumentes, welches nach ſeinem Erfinder der Prony'ſche Zaum oder paſſender Bremsdynamometer genannt wird, und dazu dient, durch Verſuche den ganzen Effect, den irgend eine Betriebskraft hervorzubringen im Stande iſt, zu meſſen. Die geſammte Wirkung der an einer Maſchine angebrachten Kraft iſt im Allgemeinen die, daß ſie die Reibungen an den einzelnen Theilen der Maſchine und die Widerſtände, die ſich bei der hervorzubringenden Bewegung, ſey es bei der Hebung einer Laſt oder auf ſonſt irgend eine Art, darbieten, überwindet. Dieſe einzelnen Widerſtände ſind gewöhnlich ſo zerſtreut und verſchiedenartig, daß ſie ſich keiner Schätzung unterwerfen laſſen; man muß daher ſuchen, ein einziges Hinderniß anzubringen, deſſen Wirkung ſich meſſen läßt und zu deſſen Ueberwindung grade die ganze treibende Kraft erfordert wird. Zu dieſem Zwecke ſetzt man die Hauptwelle der Maſchine, auf welche zunächſt die Triebkraft wirkt, außer Verbindung mit den übrigen gewöhnlich durch ſie bewegten

Theilen, und befeſtigt an ihr ein Inſtrument (I. Fig. 19), welches mit zwei rund ausgeſchnittenen Theilen B, B die Welle A umſchließt und durch die Schrauben C, C dagegen gepreßt wird; zugleich ſteht damit der Hebel E F in Verbindung, an deſſen Ende ein willkürlich abzuänderndes Gewicht D hängt. Wenn nun die Welle anfängt ſich nach der Richtung des Pfeils umzudrehen, ſo wird entweder der Hebel mit dem Gewichte nach derſelben Richtung mit herumgeführt werden, wenn man die Schrauben zu feſt angezogen und das Gewicht zu klein genommen hat, oder der Hebel wird herabſinken, wenn das Gewicht zu groß und die Schrauben zu locker ſind; man wird aber drittens nach einigen Verſuchen durch genaue Regulirung der Schrauben und des Gewichtes auch den Mittelzuſtand hervorbringen können, wo, der Drehung der Welle ungeachtet, der Hebel in ſeiner horizontalen Lage bleibt, ohne durch einen von den Stricken G, G zurückgehalten zu werden, die nur dazu da ſind, die größeren unnützen Schwankungen des Hebels zu hindern. Wenn bei dieſem mittleren Zuſtande die Welle ſich mit gleichmäßiger Geſchwindigkeit umdreht, ſo werden Sie nach unſeren frühern Betrachtungen überzeugt ſeyn, daß die ganze Triebkraft nur grade ausreicht, die Reibung zwiſchen A und B zu überwinden; dieſe Reibung wird aber durch das Gewicht D gemeſſen, weil ſie daſſelbe nur ſo eben am Herunterſinken hindert; das Gewicht giebt alſo zugleich ein Maaß für die treibende Kraft, wenn man die geringe Reibung an den Zapfen der Hauptwelle, auf die wir hier keine Rückſicht genommen haben, vernachläſſigen will. Sey z. B. der Halbmeſſer der Welle A $\frac{1}{2}$ Fuß, die Länge des Hebels E F 5 Fuß, das Gewicht D 300 Pfund, ſo bewirkt dieſes Gewicht eben ſoviel als 3000 Pf. an der Stelle wirken würden, wo die Reibung ſtatt findet, und alſo iſt der Widerſtand, der durch die Reibung zwiſchen A und B hervorgebracht wird, einem Gewichte von 3000 Pfund gleich. Wenn nun die Welle 10 Umläufe in einer Minute macht, ſo durchläuft jeder Punkt ihres Umfanges $3{,}14 \times 10$ d. i. 31,4 Fuß in einer Minute; der Widerſtand wird alſo mit einer Geſchwindigkeit von 31 Fuß in der Minute überwunden, und der Effect der Triebkraft würde der ſeyn, daß ſie 3000 Pfund in einer Minute 31 Fuß hoch oder, was daſſelbe iſt, 93000 Pfund in einer Minute einen Fuß hoch zu heben vermöchte, ein Effect, den man 3 Pferdekräften gleich zu achten pflegt.[1]

Sechste Vorleſung.

Schwerpunkt.

Sowie wir neulich ſahen, daß durch Feſtigkeit und Reibung ſehr verſchiedne Wirkungen hervorgebracht werden, je nachdem das Moment, womit

[1] Das Brems-Dynamometer, das hier nur in ſeiner einfachſten Form und ohne die vielen bei der Anwendung zu beobachtenden Vorſichtsmaaßregeln beſchrieben iſt, hat mancherlei Verbeſſerungen erfahren; eine derſelben beſteht darin, daß ſtatt der hölzernen Theile B, B, die nur für eine Welle paſſen, ein biegſames metallenes Band zur Hervorbringung der Reibung angewandt wird.

dieſe Kräfte wirken, größer oder geringer iſt, ſo giebt auch die Schwerkraft Veranlaſſung zu Erſcheinungen, bei denen ſich die Berückſichtigung ihres Momentes von ſelbſt aufdrängt. Wenn an einer Stange ein Gewicht hängt und man will dieſes, indem man die Stange in A und B (II. Fig. 2) ergreift, forttragen, ſo müſſen freilich die in A und B wirkenden Kräfte zuſammen der Laſt gleich ſeyn, aber unter einander gleich dürfen ſie nicht ſeyn, wenn die Abſtände A C, B C ungleich ſind. Man kann ihre Größe ſo beſtimmen. Würde A ganz feſt gehalten, ſo brauchte B nur ein ſolcher Theil von P zu ſeyn, wie A C von A B iſt, z. B. wenn, wie in der Figur, A C = $^3/_8$ A B iſt, ſo hat B nur $^3/_8$ des Gewichtes P zu tragen, die übrigen $^5/_8$ trägt A, und man hat alſo die Regel: Man theile die Laſt in ſo viele Theile, als die ganze Entfernung A B enthält, ſo hat A ſo viele ſolche Theile zu tragen, als die Entfernung B C angiebt, und B hat ſo viele ſolche Theile zu tragen, als die Entfernung A C angiebt. Wenn zwei Menſchen von ungleicher Stärke eine Laſt tragen, ſo muß der ſchwächere in B, weiter entfernt von dem belaſteten Punkte angreifen, als der ſtärkere. Hier iſt die geſammte Wirkung der beiden in A, B wirkenden Kräfte in C ſo vereinigt, daß ſie dort eine ihrer Summe gleiche Laſt tragen, ohne eine Drehung zu bewirken, und C heißt daher der Mittelpunkt dieſer Kräfte. Eben ſo wenn (II. Fig. 3) zwei Gewichte P = 18, Q = 14 Pfunde herabwärts ziehen, ſo trägt die Unterlage in C die Summe beider Gewichte, und wenn A C zu C B wie 14 zu 18 iſt, ſo bleibt alles im Gleichgewichte; die geſammte Wirkung der beiden Gewichte iſt ein auf C ausgeübter Druck, und C heißt nun der Mittelpunkt dieſer Kräfte oder ihr Schwerpunkt. Der Schwerpunkt iſt alſo derjenige, in welchem die ganze Wirkung zweier oder mehrerer parallel wirkender Gewichte ſich vereinigt. Wenn ich den ganzen Hebel A B mit den daran hängenden Gewichten an dem Seile D C trage, ſo iſt es ganz ſo, als ob die Summe der Gewichte in C hinge, indem der Hebel kein Beſtreben, nach einer Seite ſich zu heben, nach der andern ſich zu ſenken, zeigt, und auch in jeder ſchiefen Stellung ruht.

Hängen mehrere Gewichte an der Linie A E, zum Beiſpiel (II. Fig. 4) in A, B, D, E, ſo beſtimmt man den Schwerpunkt ebenfalls leicht. Wenn in A 5 Pfund, in B 7 Pfund, in D 12 Pfund, in E 1 Pfund hängen, ſo theilt man A B in 5 + 7 Theile, und es iſt ſo gut, als ob 12 Pfund in F hingen; eben ſo theilt man D E in 13 = 12 + 1 Theile, und es iſt ſo gut als ob 13 Pfund in G hingen; endlich theilt man F G in 25 Theile, und auf dem zwölften Theilungspunkte von G her liegt der Schwerpunkt H aller vier Gewichte, eine Kraft in H aufwärts ziehend müßte 25 Pfund betragen und erhielte dann alles im Gleichgewichte. Eben ſo, wie es hier einen Schwerpunkt für vier Gewichte giebt, läßt ſich nun auch der Schwerpunkt eines ganzen Körpers als derjenige Punkt bezeichnen, den man unterſtützen muß, um den ganzen Körper in jeder beliebigen Stellung im Gleichgewichte zu erhalten. Wenn man in einem, aus gleichförmigem Blech geſchnittenen Dreiecke A B C (II. Fig. 7) die Linie A D von der Spitze nach der Mitte der Grundlinie zieht und dieſe mit einer

Meſſerſchneide unterſtützt, ſo iſt das Dreieck im Gleichgewichte, weil B D mit C D, b d mit c d im Gleichgewichte iſt. Zieht man eben ſo B E nach der Mitte der A C, ſo würde auch B E unterſtützt werden dürfen, um das Dreieck im Gleichgewichte zu erhalten. Aber es braucht nicht eine dieſer Linien ganz unterſtützt zu werden, ſondern eine Nadelſpitze unter dem Durchſchnittspunkte F beider, als Unterſtützung, angebracht erhält das ganze Dreieck im Gleichgewichte, und F iſt des Dreiecks Schwerpunkt. — Eben ſo erhalten wir eine Kreisfläche, ohne daß ſie ſich nach einer Seite ſenkt, wenn wir ihren Mittelpunkt unterſtützen; würde dagegen ein andrer Punkt neben dem Mittelpunkte unterſtützt, ſo würde der Kreis nach der Richtung hinabſinken, wie es geſchähe, wenn der Mittelpunkt allein mit dem ganzen Gewichte des Kreiſes belaſtet wäre. Der Schwerpunkt liegt übrigens nicht immer in der Maſſe des Körpers ſelbſt, ſondern ein kreisförmiger Reifen zum Beiſpiel hat den Schwerpunkt im Mittelpunkte, obgleich dieſer Mittelpunkt keinen Theil der Maſſe des Reifens enthält. Zöge man einen feinen Faden als Durchmeſſer des Kreisringes und hielte dieſen Faden in ſeiner Mitte an einem angeknüpften Faden feſt, ſo würde der Ring horizontal ſchwebend erhalten.

Hiernach laſſen ſich nun die Umſtände beſtimmen, wann ein Körper auf einer beſtimmten Unterſtützung ruhen kann oder nicht. Iſt er nur in einem Punkte unterſtützt, ſo muß dieſe Unterſtützung entweder im Schwerpunkte ſelbſt, oder ſenkrecht über, oder ſenkrecht unter demſelben angebracht ſeyn; wenn ſie unterhalb des Schwerpunktes liegt, ſo ruht der Körper zwar ſo lange, als der Schwerpunkt ſich genau grade über ihr befindet, er fällt aber herab, wenn er durch einen Zufall oder durch eine ſeitwärts wirkende Kraft um etwas Geringes aus dieſer Lage gerückt iſt. Bei der Lage A B (II. Fig. 8) könnte ſelbſt die Kugel auf einer Nadelſpitze D ruhen, aber ſobald ſie in die Lage a b rückt, ſo iſt ihr Schwerpunkt c nicht unterſtützt und fällt unfehlbar, wenn man nicht durch ſchnelle Unterſtützung des richtigen Punktes dieſes hindert. Wäre dagegen die Kugel oberhalb des Schwerpunktes in D (II. Fig. 9) unterſtützt, ſo würde bei einer geringen Verrückung der Schwerpunkt c gehoben werden, weil die Drehung um D ſtatt fände, und nun würde er nach C zurückſinken, das Gleichgewicht alſo ſich herſtellen; — in dieſem Falle heißt das Gleichgewicht ein ſicheres Gleichgewicht, ſtatt daß es im andern Falle ein unſicheres oder wankendes, leicht zerſtörbares, heißen würde. Es ergiebt ſich hieraus noch ein in manchen Fällen anwendbares Mittel, den Schwerpunkt eines Körpers zu beſtimmen; hängt man nämlich einen Körper zweimal an verſchiedenen, beliebig auf der Oberfläche des Körpers gewählten Befeſtigungspunkten auf und denkt ſich in beiden Fällen die Richtung des Fadens durch den Körper fortgeſetzt oder zeichnet ſie wirklich auf, ſo liegt der Schwerpunkt im Durchſchnittspunkte beider Linien, weil er nothwendig in beiden zugleich liegen muß, auch würde, wenn man einen dritten Aufhängungspunkt wählte, jedesmal die Verlängerung des Fadens durch denſelben Durchſchnittspunkt hindurch gehen.

Nach der Lage des Schwerpunktes beurtheilen wir, ob ein Körper feſtſtehe,

Stabilität beſitze, oder nicht. Dem Körper A B C D (II. Fig. 10) würden wir keine Feſtigkeit in der Stellung zutrauen; denn da wir den Schwerpunkt am natürlichſten in der Mitte der Figur ſuchen, in E, ſo glauben wir dieſen ununterſtützt zu ſehen, indem die Linie E F über die Grundfläche A B hinausfällt und E ungehindert ſinken kann. Indeß könnte ein ungleichförmiger Körper, der unten aus Blei, oben aus Holz beſtände, dennoch feſtſtehen; denn bei dieſem würde der Schwerpunkt tiefer, etwa in G liegen, und wenn die durch G gezogne Verticallinie noch in die Grundfläche A B trifft, ſo hat der Körper keine Neigung umzuſtürzen. Hierauf beruht das Feſtſtehen und das Zurückkehren zur aufrechten Stellung bei den unten mit Blei beſchwerten menſchlichen Figuren, mit welchen die Kinder ſich zu beluſtigen pflegen; der Schwerpunkt liegt hier, da der obere Theil der Figur ſehr leicht iſt, in der Bleihalbkugel, und er hat daher beim aufrechten Stehen eine niedrigere Lage, als wenn man die Figur auf die Seite legt. Der ſehr ſichere Stand einer Figur, die in der Hand einen tief hinabreichenden, unten ſehr beſchwerten Stab trägt, läßt ſich eben ſo erklären. Wenn die Kugel D (II. Fig. 11) viel mehr als die Figur B C wiegt, ſo würde der Schwerpunkt nahe bei D, etwa in E zu ſuchen ſeyn, und dieſer befindet ſich bei der eintretenden ruhigen Stellung vertical unter dem Punkte C, auf welchem die Figur ruht; bringt man die Figur in die Stellung C b, ſo hebt man die Kugel nach d, und der Schwerpunkt E wird gehoben, er ſtrebt alſo zu ſinken und kehrt, da C immer in demſelben Punkte bleibt, in ſeine alte Stellung zurück. — Nach der Lage des Schwerpunktes beurtheilen wir, ob ein Menſch eine gewiſſe Stellung annehmen kann. Wenn jemand zurückgelehnt auf dem Stuhle ſitzt, ſo kann er nicht aufſtehen, ohne ſich vorwärts zu bücken, denn der Schwerpunkt muß erſt bis über die Füße hin vorrücken, ehe man ſich vom Stuhle erheben kann. Wenn ein Mann eine ſchwere Laſt auf dem Rücken trägt, ſo muß er ſich vorwärtsbeugen, damit der Schwerpunkt der geſammten Maſſe, ſeines eignen Körpers nämlich und der auf dem Rücken befeſtigten Laſt, grade über den Fußſohlen liege; will er fortſchreiten, ſo muß er ſich noch etwas mehr vorwärts beugen, damit der Schwerpunkt beim Heben des einen Fußes ein wenig vor dem andern Fuße liege und nun erſt durch Auftreten mit jenem Fuße wieder ſeinen Ruhepunkt finde. Wir alle lehnen uns mehr vorwärts bei ſchnellem Gehen, damit ſogleich nach dem Auftreten des gehobnen Fußes der Schwerpunkt wieder über den unterſtützten Punkt hinausgerückt ſey. Menſchen, welche Laſten auf dem Kopfe tragen, gehen ſehr grade aufrecht, damit theils die auf dem Kopfe nur in wenigen Punkten unterſtützte Laſt nicht herabfalle, theils auch der hoch hinauf gerückte Schwerpunkt des oben belaſteten Körpers nicht zu weit vorwärts liege; ſie ſchreiten in kleinen Schritten vorwärts, damit die Bewegung möglichſt gleichförmig ſey und die am Kopfe nicht befeſtigte, ſondern frei aufliegende Laſt nicht bei plötzlich ſchneller und plötzlich abgeſetzter Bewegung durch die Trägheit beim plötzlichen Anhalten der Bewegung vorrücke; iſt es ſogar ein Gefäß mit Waſſer oder ein Milcheimer, den ſie ſo tragen, ſo müſſen

ſie um ſo mehr dieſe Vorſicht beobachten, da die flüſſige Maſſe ſogleich beim plötzlichen Anhalten der Bewegung durch die Trägheit weiter nach vorn geführt würde und die Gefahr des Herunterfallens vermehrte.

Die Regel, daß man, auf einem Wagen ſitzend, wenn dieſer umzuſtürzen droht, nicht aufſtehen, am wenigſten an der hinabwärts geneigten Seite aufſtehen ſoll, erklärt ſich ebenfalls hieraus; denn beim Aufſtehen rückt der Schwerpunkt höher, und wenn er vielleicht ſchon um etwas Geringes über die Grenze der Unterſtützung hinaus liegt, ſo wird das Moment der Kraft, die das Umſtürzen bewirkt, noch vermehrt, und die Gefahr, daß bei etwas ſtärkerer Neigung des Wagens der höher liegende Schwerpunkt über die Unterſtützungspunkte hinausgeführt werde, iſt ebenfalls größer. — Wenn wir im Gehen ausgleiten und nach der rechten Seite zu fallen im Begriff ſind, ſo ſtrecken wir den linken Arm aus, damit der Schwerpunkt ein wenig mehr auf die linke Seite, das iſt dahin rücke, wo er noch über den Unterſtützungspunkten liegt, welche die Füße darbieten, und dieſes Ausſtrecken des Armes iſt noch wirkſamer, wenn wir etwas Schweres in dieſer Hand halten. Dabei iſt das ſehr weite Ausſtrecken des Armes darum vortheilhaft, weil die, wenn gleich nicht bedeutend ſchweren, aber ſehr entfernten Theile ein großes Moment erhalten und dadurch auf die Fortrückung des Schwerpunkts wirken. Sind in A (II. Fig. 12) 20 Pfund, in B 1 Pfund, ſo liegt der Schwerpunkt nur um $\frac{1}{21}$ A B von A entfernt; rückt aber das eine Pfund ziemlich weit bis C fort, ſo rückt der Schwerpunkt um $\frac{1}{21}$ B C von D nach d fort. Die Künſte der Seiltänzer beruhen vorzüglich auf einer genauen Achtſamkeit auf die Lage des Schwerpunktes. So lange der Schwerpunkt genau über dem Seile liegt, ruht der Körper ſelbſt auf dem ſchmalen Seile noch ſicher, aber da ein Hinausrücken des Schwerpunktes über dieſe engen Grenzen unvermeidlich iſt, ſo erfordert es große Kunſt, durch Ausſtrecken des Armes oder auf ähnliche Weiſe den Schwerpunkt wieder ſenkrecht über die Unterſtützung zu bringen; mit Hülfe einer ſchweren Balancierſtange geht es, zumal wenn dieſe tief herabgehalten wird, etwas leichter. Auch diejenigen Künſte des Aequilibrirens, wo ſchwere Körper in aufrechter Stellung, auf dem Finger oder auf einer Degenſpitze getragen, erhalten werden, beruhen auf einem ſorgfältigen Wahrnehmen der Lage des Schwerpunktes. Ein hoher, an ſeinem obern Ende ſchwerer Körper läßt ſich, in ſeinem untern Punkte unterſtützt, leichter balanciren, als wenn der Schwerpunkt niedriger läge. Wenn nämlich (II. Fig. 13*) der Schwerpunkt A nach a ausgewichen iſt, ſo iſt, wenn C den Unterſtützungspunkt vorſtellt, das Beſtreben zu fallen noch ſehr gering, und der unterſtützende Finger braucht nur langſam nach c fortzugehen, um das Gleichgewicht zu erhalten; iſt aber der niedriger in B liegende Schwerpunkt eben ſo weit nach b ausgewichen, ſo iſt das Beſtreben zu fallen, wegen der erlangten ſchiefern Richtung, größer, und das weitere Umſtürzen erfolgt zu ſchnell, um es durch ein Fortrücken nach c zu hindern.

Die Betrachtung der Lage des Schwerpunktes erklärt zwei Phänomene,

die man gewöhnlich als auffallende anzuführen pflegt, nämlich das Aufwärtsrollen eines an einer Seite ſchwereren Cylinders auf einer geneigten Ebne, und das Aufwärtsrollen eines Doppelkegels, der zwiſchen zwei geneigten Ebnen aufliegt. Wenn ein Cylinder A B (II. Fig. 13) an ſeiner einen Seite A mit Blei beſchwert iſt und beim Auflegen auf eine ſchiefe Ebne dieſe Seite den obern Platz einnimmt, ſo ſinkt der Schwerpunkt, der etwa in C liegt, herab, dabei aber wälzt der ganze Cylinder ſich an der Ebne hinaufwärts, und hierin beſteht das Auffallende der Erſcheinung. — Der Doppelkegel A B C D (II. Fig. 14) beſteht aus zwei gleichen, mit ihren Grundflächen in C D zuſammen gefügten Kegeln. Legt man ihn auf zwei geneigte, gegen E F zu näher an einander ſtehende Unterlagen, die in E und F ihre tiefſten Punkte haben, ſo wälzt er ſich nach G H zu, obgleich dieſe Punkte die höhern der geneigten Ebnen ſind; da nämlich dort der Zwiſchenraum weiter iſt, ſo ſenkt ſich ſein dickerer Theil zwiſchen die Unterlagen hinab und der Schwerpunkt ſinkt, obgleich die Axe des Körpers ſich hinauf wälzt und es daher ſo ausſieht, als ſteige der ganze Körper.

Die Waage.

Als eine Anwendung dieſer Lehre muß ich noch die Einrichtung unſrer gewöhnlichen Waage erklären, deren Eigenſchaft, einen größern oder kleinern Ausſchlag zu geben, auf der Lage des Schwerpunktes beruht. Wir ſind gewohnt, beim Hebel die eigene Schwere des Hebels nicht zu berückſichtigen, und dürfen dieß in den meiſten Fällen um ſo eher, da gewöhnlich die am Hebel wirkenden Kräfte ſehr viel größer ſind, als das Gewicht des Hebels ſelbſt; aber bei der Waage kömmt dieſes dennoch ſehr in Betrachtung. Unſre gewöhnliche Waage iſt ein gleicharmiger Hebel und ihre Richtigkeit wird daran erkannt, daß man die zum Gleichgewichte erforderlichen Gewichte vertauſcht, indem bei einiger Ungleichheit der Arme das zum Gleichgewicht am längeren Arme erforderliche Gewicht etwas kleiner, als das am kürzern iſt, bei der Verwechſelung alſo das Gleichgewicht nicht mehr beſtehen könnte. Wäre nun die Waage in dem Schwerpunkte des Waagebalkens unterſtützt, ſo würde das geringſte Uebergewicht an einer Seite ein völliges Herunterſinken dieſer Seite zur Folge haben, und das, was wir den Ausſchlag der Waage nennen, nämlich ein nach Maaßgabe des Uebergewichtes geringeres oder ſtärkeres Abweichen von der Gleichgewichtslage, fände gar nicht ſtatt. Da es nun höchſt unbequem wäre, wenn nur bei genauem Gleichgewichte die Waage ihren regelmäßigen Stand behielte und beim geringſten Uebergewichte der Waagebalken ſogleich die verticale Stellung annähme, ſo iſt der Drehungspunkt des Waagebalkens nicht einerlei mit dem Schwerpunkte, ſondern jener liegt höher als dieſer. Der dadurch erreichte Vortheil läßt ſich leicht überſehen (II. Fig. 15). Es ſey C der Punkt, um welchen ſich die feſtverbundenen Theile C G, A B der Waage drehen, und der Schwerpunkt des Waagebalkens befinde ſich in G; dann wird beim Gleichgewichte der Theil A B ſich horizontal ſtellen, und da C G ſenkrecht gegen die Mitte des Waagebalkens ſeyn muß, ſo hindert es während des Gleichgewichts

nichts, daß G vom Drehungspunkte C entfernt liegt. Iſt aber in B ein Uebergewicht, ſo ſenkt ſich der Arm G B und dadurch rückt der Schwerpunkt G, ein wenig gehoben, auf die entgegengeſetzte Seite; indem nun erſtlich das leichtere Gewicht an A ein wenig weiter vom Unterſtützungspunkte fort rückt oder d e größer als A G, f h kleiner als G B iſt, und zweitens auch das Gewicht des Waagebalkens, welches wir als im Schwerpunkte G vereinigt anſehen können, auf der Seite des leichtern Gewichtes herabwärts zieht, ſo tritt (vorausgeſetzt, daß das Uebergewicht bei B nicht zu groß iſt), ein Gleichgewicht bei mäßiger Neigung des Waagebalkens ein. Iſt die Entfernung des Schwerpunktes G vom Drehungspunkte C ſehr geringe, ſo muß bei gleichem Uebergewichte die Neigung größer werden, und die Waage heißt dann eine ſehr empfindliche, weil ſie einen großen Ausſchlag giebt; im entgegengeſetzten Falle heißt ſie eine träge Waage. Goldwaagen und vollends diejenigen Waagen, die zu ſehr genauen, bis auf feine Theile des Grans gehenden Abwiegungen bei phyſicaliſchen oder chemiſchen Experimenten gebraucht werden ſollen, müſſen von der erſtern Art ſeyn, und man kann bei ihnen noch die Einrichtung anbringen, daß ſie ſich nach Belieben empfindlicher oder weniger empfindlich machen laſſen, indem man durch ein in der Mitte des Waagebalkens angebrachtes Gewicht, das ſich höher und tiefer ſchrauben läßt, dem Schwerpunkte des Waagebalkens eine andere Lage giebt. Ein wichtiges Erforderniß für feine Waagen iſt, daß ſich die Aufhängungspunkte der Schaalen mit dem Unterſtützungspunkte genau in einer geraden Linie befinden, ferner daß die Schaalen ſelbſt beweglich genug befeſtigt ſind, um immer eine ſolche Lage anzunehmen, in welcher der Schwerpunkt jeder einzelnen Schaale ſich genau lothrecht unter dem Aufhängungspunkte befindet, endlich daß ſo viel als nur irgend möglich die Reibung an der feinen Schneide vermindert wird, auf welcher der Waagebalken ruht.

Alle die Einrichtungen, bei denen ein ungleicharmiger Hebel zum Wägen gebraucht wird, nennt man insgeſammt Schnellwaagen; ſie zerfallen aber in drei weſentlich verſchiedene Claſſen, und dienen entweder dazu, mit einem einzigen Gewichte verſchiedene Laſten, oder mit kleineren Gewichten größere Laſten zu wägen. Bei der einen Art wird an den kürzern Arm des Waagebalkens die Laſt gehängt, während auf dem andern Arm ein immer gleichbleibendes Gewicht (Laufgewicht) ſich hin und her ſchieben läßt. Muß man hier, um das Gleichgewicht herzuſtellen, das Laufgewicht von einem Pfunde dreimal ſo weit vom Unterſtützungspunkte entfernt anbringen als die Laſt, ſo wiegt letztere 3 Pfund. Aehnliches wird durch die zweite Art erreicht, wo ein beſtimmtes Gewicht ein für allemal am einen Ende des Waagebalkens befeſtigt, die Laſt am andern Ende aufgehängt wird, und man nun den Unterſtützungspunkt C (II. Fig. 16) ſo lange verändert, bis Gleichgewicht eintritt. Iſt der ganze Waagebalken z. B. 10 Pfund ſchwer, ſein Schwerpunkt in G, und findet man, nachdem das Gleichgewicht hergeſtellt iſt, A C halb ſo groß als C G, ſo wiegt die Laſt 20 Pfund. Die Gewichte der Laſt, die den verſchiedenen Lagen des

Unterſtützungspunktes bei dieſer oder den verſchiednen Stellungen des Laufgewichts bei der vorigen Einrichtung entſprechen, werden gewöhnlich gleich auf dem Waagebalken ſelbſt angemerkt. Bei der dritten Art von Schnellwaagen bleiben die Hebelarme ſelbſt immer ungeändert, und am kürzern wird die Laſt, am längern das zur Herſtellung des Gleichgewichts nöthige Gewicht angebracht, ſo daß man alſo, wenn der längere Arm zehnmal ſo lang als der kürzere iſt, die Summe aller aufgelegten Gewichte nur mit 10 zu multipliciren braucht, um das Gewicht der Laſt zu finden. In noch viel höherem Maße kann aber dieſer Vortheil der Anwendung kleiner Gewichte durch eine Verbindung mehrerer Hebel, wie ſie bei der Brückenwaage ſtatt findet, erreicht werden; nur muß man dann noch einen beſondern Kunſtgriff anwenden, damit nicht durch die verſchiedene Stellung, welche man der Laſt auf der Brücke geben kann, ein Unterſchied in dem gefundenen Gewichte hervorgehe. Die gewöhnliche Einrichtung kleinerer Brückenwaagen iſt die in der Figur angegebene (I. Fig. 20). Auf die Brücke A B wird die zu wägende Laſt gelegt, deren Druck ſich auf die beiden Unterſtützungspunkte A und B ungleich vertheilt, je nachdem man ſie dem einen oder andern mehr nähert; der Theil des Druckes, der auf B kommt, wirkt hier auf den Hebel H G, und bringt in G einen abwärts gerichteten Zug hervor, der nur $\frac{1}{5}$ ſo ſtark iſt, durch den Hebel E F wird dieſer Zug von Neuem auf $\frac{1}{5}$ reducirt, ſo daß alſo 1 Pfund in F einem Druck von 25 Pfund in B das Gleichgewicht hält. Der auf A fallende Theil des Druckes wirkt unmittelbar an dem Hebel D F, bei welchem $CD = \frac{1}{25} CF$ ſeyn muß, er bringt alſo auch in F nur den fünfundzwanzigſten Theil der Wirkung hervor, und man braucht ſomit nur die bei horizontaler Lage des Waagebalkens nöthigen Gewichte mit 25 zu multipliciren, um das Gewicht der Laſt zu finden.

Kettenlinie.

Noch einen Gegenſtand muß ich hier erwähnen, nämlich die Beſtimmung der Form, welche eine in zwei Punkten aufgehängte überall gleich ſchwere Kette annimmt. Wenn mehrere Körper ſo verbunden ſind, daß ſie um ihre Verbindungspunkte ſich drehen und gegen einander eine verſchiedene Lage annehmen können, ſo nehmen ſie, frei aufgehängt, diejenige Lage an, bei welcher der Schwerpunkt jedes einzelnen Theiles die niedrigſte Lage erhält. Auf dieſes Geſetz gründet ſich die Beſtimmung der Kettenlinie. Um dieſe Linie zuerſt practiſch anzugeben, um zu wiſſen, wie lang eine Kette ſeyn muß, die, in zwei beſtimmten Endpunkten A, E befeſtigt, bis zu einer gewiſſen Tiefe herabhängen ſoll (II. Fig. 17), zeichnet man in verkleinertem Maaßſtabe die Lage der drei Punkte, durch welche die Kettenlinie gehen ſoll, auf einer vertical ſtehenden Tafel auf, befeſtigt eine überall gleich ſchwere Kette mit ihrem einen Endpunkte in einem der Aufhängepunkte, und bringt, indem man die Kette allmälig weiter durch den andern Aufhängepunkt fortrücken läßt, ihren herabhängenden Theil dahin, daß er den dritten Punkt berührt; dann hat man das Modell der verlangten

Kettenlinie, und kann daher theils die nöthige Länge der Kette, aus jenem verkleinerten Maaße auf wahres Maaß zurückgeführt, ſchließen, theils auch alle einzelne Punkte, durch welche die Kette gehen, ſo wie welche Höhe ſie in jedem Punkte haben wird, beſtimmen. Dieſe Beſtimmung iſt bei der Errichtung von Kettenbrücken und in andern Fällen oft von Wichtigkeit. Auch die in jedem Theile der Kette wirkſame Kraft der Spannung, welche die Kette zu zerreißen ſtrebt, kann man durch einen Verſuch angeben, wenn man an der Stelle, wo man ſie zu wiſſen verlangt, eine Federwaage einſpannt, die durch die Länge, zu welcher ſie ausgezogen wird, Pfunde und Lothe angiebt; man überträgt nämlich dann die im Modell gefundene Spannung auf das verhältnißmäßige Gewicht der größern Kette, ſo daß zum Beiſpiel die Pfunde der Federwaage Centner der Spannung angeben, wenn die Modellkette ſo viele Pfunde wiegt, als die wirklich zu gebrauchende Kette Centner.

Auch die Theorie der Kettenlinie iſt nicht ſchwer zu überſehen. Da die aus der Spannung hervorgehenden, in horizontaler Richtung wirkenden Kräfte ſich einander im Gleichgewichte halten müſſen, der hinaufwärts gerichtete Theil der Spannung aber das Gewicht der Kette trägt, ſo ergiebt ſich folgende Regel für die richtig gezeichnete Kettenlinie A B C D E (II. Fig. 17). Wenn C ihr tiefſter Punkt iſt, und man in verſchiedenen Punkten D, d Berührungslinien D G, d g ſo lang zieht, daß die horizontalen Längen D F, d f gleich ſind, ſo müſſen die zugehörigen verticalen Längen F G, f g dem vom unterſten Punkte an gerechneten Bogen proportional ſeyn, alſo F G = 2 f g, wenn C D = 2 C d iſt. Hier ſtellt nämlich D F oder d f den aus der Spannung entſtehenden horizontalen Zug vor, F G, f g aber den verticalen Zug, der offenbar das ganze unterhalb liegende Gewicht der Kette trägt.

Dieſe Kettenlinie kommt auch bei der Form der Gewölbe vor. Wenn man zwei Stäbe ſo auf einander ſetzt, daß (II. Fig. 18) der eine ſich an die feſte Wand A B anlehnt, der andre auf dem Boden B C ruhet, ſo giebt es eine gewiſſe Stellung, bei welcher die in D ſich an einander ſtützenden Stäbe A D, D C ohne fremde Kraft ſich ſelbſt erhalten. Nähme man drei oder mehr Stäbe, ſo könnten auch dieſe bei gehörig gewählter Neigung, ſo wie A D, D E, E F, ſich im Gleichgewichte erhalten, und die Form, die man dieſer ganzen Verbindung von Stäben geben müßte, ſtimmt, wenn alle Stäbe gleich ſchwer ſind, deſto näher mit der Kettenlinie überein, je mehrere der Stäbe ſind; denn auch hier muß die nach horizontaler Richtung ſchiebende Kraft bei allen gleich, die nach verticaler Richtung ſtützende und tragende Kraft der ganzen aufliegenden Laſt gleich ſeyn.

So reichhaltig in nützlichen Anwendungen iſt die Lehre vom Gleichgewichte der Körper, und wenn ich mich hier vielleicht bei Gegenſtänden, die vorzüglich ein practiſches Intereſſe gewähren, zu lange aufgehalten habe, ſo müſſen Sie dieſes damit entſchuldigen, daß ich doch gern auf die zahlreichen Fälle hindeuten wollte, die, als von dieſer Lehre abhängig, ſich uns als Grundlage des ganzen Maſchinenbaues darbieten. Die Mechanik, zu welcher ich jetzt

übergehe, bietet uns noch mannigfaltigere und zugleich höchſt anziehende Anwendungen dar.

Siebente Vorleſung.

Geſetze des Falles der Körper.

Wir haben in dem Vorigen die Kräfte in ihrem Gleichgewichte betrachtet, wo nämlich die eine diejenige Wirkung zerſtörte, welche die andre hervorzubringen im Begriffe war; — da, wo dieſe entgegengeſetzte Wirkſamkeit nicht ſtatt findet, iſt eine hervorgebrachte Bewegung die Wirkung der Kraft. Dauert die Einwirkung der Kraft nur eine Zeit lang, ſo iſt der Erfolg eine beſtimmte Geſchwindigkeit, die alsdann, vermöge der Trägheit, gleichförmig fortdauert; aber ſo lange die Kraft ihre Wirkung fortſetzt, wird die Geſchwindigkeit vermehrt, wenn nämlich die Kraft immer nach der gleichen Richtung hin treibt.

Eine Kraft würde gleichförmig beſchleunigend heißen, wenn ſie die Geſchwindigkeit des von ihr fortgetriebenen Körpers in jeder gleichen Zeit um gleich viel vergrößerte, und wir wollen nun Mittel ſuchen, zu entdecken, ob die merkwürdigſte Kraft, die wir in der Natur wirkſam ſehen, die Kraft der Schwere, gleichförmig beſchleunigend ſey. Daß der herabfallende Stein deſto ſchneller fällt, je länger er ſchon gefallen iſt, wiſſen wir; aber ob er am Ende der zweiten Secunde ſich genau doppelt ſo ſchnell, am Ende der dritten Secunde dreimal ſo ſchnell bewege, als am Ende der erſten Secunde, läßt ſich nicht ſo leicht beſtimmen; dagegen bieten ſich unſrer Beobachtung andre Beſtimmungen dar, und wir müſſen aus dieſen die Frage, ob die Schwere eine gleichförmig beſchleunigende Kraft ſey, zu beantworten ſuchen. Die Vergleichung der in der erſten Secunde, in den 2 erſten Secunden, in den 3 erſten Secunden durchlaufenen Wege bietet uns ein Mittel hiezu dar. Wäre wirklich die Schwere eine gleichförmig beſchleunigende Kraft von der Stärke, daß ſie in 1 Secunde dem freifallenden Körper eine Geſchwindigkeit von 30 Fuß ertheilte, ſo müßte die Geſchwindigkeit am Ende der zweiten Secunde 60 Fuß, am Ende der dritten Secunde 90 Fuß ſeyn. Da nun der freifallende Körper am Anfange der erſten Secunde gar keine, dagegen nach unſrer Vorausſetzung am Ende der erſten Secunde 30 Fuß Geſchwindigkeit hat, ſo iſt 15 Fuß ſeine mittlere Geſchwindigkeit und er muß 15 Fuß in der erſten Secunde durchlaufen; in der zweiten Secunde iſt ſeine mittlere Geſchwindigkeit die mittlere zwiſchen 30 und 60, alſo 45 Fuß der Weg in der zweiten Secunde, 60 Fuß der Weg in den zwei erſten Secunden; in der dritten Secunde iſt der Weg 75 Fuß, nämlich das Mittel zwiſchen 60 und 90, und ſo ferner. Bei jeder gleichförmigen Beſchleunigung iſt daher der Weg in der zweiten Secunde 3mal ſo groß als in der erſten, in der dritten Secunde 5mal ſo groß, in der vierten Secunde 7mal ſo groß als in der erſten, und da 1 + 3

$=4$, $1+3+5=9$, $1+3+5+7=16$ die Reihe der Quadratzahlen 2 mal 2, 3 mal 3, 4 mal 4 giebt, ſo erhalten wir die Regel, daß die durchlaufenen Räume den Quadraten der Zeiten proportional ſind, das heißt, diejenige gleichförmig beſchleunigende Kraft, welche den Körper in 1 Secunde durch 15 Fuß treibt, führt ihn in 2 Secunden durch 4 . 15 Fuß, in 3 Secunden durch 9 . 15 Fuß, in 4 Secunden durch 16 . 15 Fuß, und ſo weiter. Hier haben wir alſo das Mittel, zu entſcheiden, ob die Schwere eine gleichförmig beſchleunigende Kraft iſt, da wir die in beſtimmten Zeiten durchlaufenen Fallräume zu beobachten und zu vergleichen im Stande ſind. Die Erfahrung zeigt, daß die Schwere ſich wirklich dem angegebenen Geſetze gemäß verhält.

Um den Schwierigkeiten auszuweichen, die mit Fallverſuchen bei freier Einwirkung der Schwere verbunden ſind, dient die von Atwood angegebene Fallmaſchine, bei welcher man den Fall der Körper ſo langſam, als man will, hervorbringen kann. Dieſe Vorrichtung dient erſtlich zu zeigen, wie die Geſchwindigkeit der fallenden Körper bei verminderter beſchleunigender Kraft abnimmt, zweitens kann man an ihr die Größe der Fallräume in ungleichen Zeiten und drittens die in jedem beſtimmten Augenblicke erlangte Geſchwindigkeit wahrnehmen. Was das erſte betrifft, ſo iſt es offenbar, daß zwei an der Rolle A B (II. Fig. 19) einander gegenüber hängende Gewichte P, Q völlig im Gleichgewichte ſeyn werden, wenn ſie gleich ſind, und daß dagegen, wenn ein Uebergewicht an einer Seite iſt, die überwiegende Laſt deſto ſchneller herabſinken wird, je größer das Uebergewicht iſt. Um aber die hier ſtatt findende Beſchleunigung genau zu beſtimmen, müſſen wir folgende Ueberlegung anſtellen. Ließe man das Gewicht Q ganz frei fallen, ſo zeigt die Erfahrung, daß es 15 pariſer Fuß[1] in der erſten Secunde durchläuft; aber nun betrage die Summe beider Gewichte P und Q tauſend Gran, und Q habe nur ein Uebergewicht von 10 Gran (P = 495 Gr., Q = 505 Gr.), ſo muß dieſes geringe Uebergewicht eine hundertfach ſo große Maſſe fortziehen und kann dieſer nur ein Hundertel jener durch den freien Fall bewirkten Geſchwindigkeit ertheilen. In dieſem Falle wird alſo Q nicht 15 Fuß oder 180 Zoll, ſondern nur den hundertſten Theil, nämlich 1,8 Zoll in der erſten Secunde durchlaufen. Macht man das Uebergewicht immer gleich, während beide Gewichte eine andre Größe erhalten, ſo findet man, daß wirklich die in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume dem eben angegebenen Geſetze gemäß ſind.

Da das Gewicht, welchem man an der Rolle A B das Uebergewicht ertheilt hat, vor der eingetheilten Scale an C D herabläuft und hier eine langſame Bewegung, ſo daß man es mit dem Auge verfolgen kann, behält, ſo läßt ſich nun auch das Geſetz der Fallräume beobachten. Man nehme das eine Gewicht 900 Gran, das andre 910 Gran ſchwer, ſo iſt die bewegende Kraft des Uebergewichts 10 Gran, aber da dieſe Kraft 1810 Gran fortziehen muß, ſo durchläuft das ſchwerere Gewicht nur $^1/_{181}$ des Raumes, welchen es

[1] Genauer 15,1 par. F., d. i. 15,63 rheinl. od. preuß. Fuß.

bei freiem Falle durchlaufen würde, das iſt beinahe genau 1 Zoll in der erſten Secunde; giebt man alſo der Tafel C D genau die Höhe, daß man die untere Fläche des Gewichtes Q 64 Zoll über dem Boden aufhängen kann, ſo wird es am Ende der achten Secunde nach dem Anfange des Falles auftreffen, und wenn man eine zum Anſchrauben eingerichtete Platte auf 49 Zoll, auf 36 Zoll, auf 25 Zoll Tiefe unter dem Anfangspunkte befeſtigt, ſo wird ſie in 7 Secunden oder in 6 Secunden oder in 5 Secunden erreicht werden. Damit man hiebei einen genauen Zeitmoment für den Anfang des Fallens wahrnehmen könne, wird das Stäbchen E F, welches die Figur nur im Querſchnitte zeigt, an den Faden gedrängt, um dieſen feſt zu halten, und man ſtößt dieſes plötzlich in dem Augenblicke fort, wo das in der Nähe aufgehängte Secundenpendel grade eine Schwingung vollendet, um das Zählen der Pendelſchläge ganz genau mit dem Anfange des Fallens zu beginnen.

Der dritte Zweck, die in einem gewiſſen Punkte des Weges erlangte Geſchwindigkeit abzumeſſen, wird durch plötzliches Abheben des Uebergewichts erreicht. So lange jenes Uebergewicht, $^1/_{181}$ des Ganzen, wirkſam bleibt, beſchleuniget ſich die Bewegung immer mehr, und nach den vorigen Betrachtungen muß die am Ende der erſten Secunde erlangte Geſchwindigkeit ſo groß ſeyn, daß der bewegte Körper vermöge derſelben, durch die Trägheit allein, 2 Zoll in der Secunde zurücklegen würde; hat man ihn alſo in 2 Secunden durch 4 Zoll herablaufen laſſen, ſo muß die Geſchwindigkeit 4 Zoll, am Ende der dritten Secunde oder in der Tiefe = 9 Zoll aber muß ſie 6 Zoll ſeyn, u. ſ. w. Dieſe Beſchleunigung dauert aber nur fort, ſo lange Q ſein Uebergewicht behält, und wenn dieſes Uebergewicht von 1 Gewichttheilchen in Form eines Stäbchens aufgelegt iſt und abgehoben wird, indem Q durch eine bei R angeſchraubte kreisförmige Oeffnung geht, die nur das Gewicht Q, nicht aber das in Form eines Stäbchens aufgelegte Uebergewicht durchläßt, ſo hört nun die Beſchleunigung auf und das Gewicht Q behält von R an eine gleichförmige Geſchwindigkeit. Bringt man alſo dieſe zum Abheben eingerichtete Oeffnung auf 16 Zoll Tiefe an, wo der Körper nach unſrer Rechnung eine Geſchwindigkeit von 8 Zoll haben ſoll, ſo durchläuft er die folgenden 48 Zoll in 6 Secunden, und wenn man mit dem Pendelſchlage, wo man das Stäbchen E F fortſtößt, anfängt, Null, Eins ꝛc. zu zählen, ſo ſieht man das Gewicht mit Vier bei 16 Zoll, mit Zehn bei 64 Zoll eintreffen; hätte man ſchon bei 4 Zoll Tiefe das Abheben ſtatt finden laſſen, ſo würden die übrigen 60 Zoll erſt in 15 Secunden, nämlich mit 4 Zoll Geſchwindigkeit durchlaufen. Und ſo haben wir, wie ich früher einmal erwähnte, ein Mittel, um die in jedem Augenblicke wirklich erlangte Geſchwindigkeit auch in Verſuchen darzuſtellen.[1]

Auch im Großen ſind zu verſchiedenen Zeiten Fallverſuche angeſtellt worden, und obgleich ſie jetzt zur Beſtimmung des Fallraumes von geringerem

[1] Bei der wirklichen Ausführung der Verſuche muß man auf die nie ganz zu vermeidende Reibung Rückſicht nehmen.

Nutzen ſind, nachdem man genauere Mittel hiezu gefunden hat, ſo kann ich ſie doch nicht ganz unerwähnt laſſen, da ſie durch die Erfahrung beſtätigt haben, was aus der Theorie als eine nothwendige Folgerung fließt: daß fallende Körper etwas nach Oſten hin von der Lothlinie abweichen müſſen. Die Urſache hievon iſt die Umdrehung der Erde von Weſt nach Oſt, denn ein Körper, der in dem Thurme A B (I. Fig. 21) herunterfällt, durchläuft bei ſeinem Falle zwar lothrecht die Linie A B; da aber während deſſen die Spitze des Thurmes durch die Umdrehung der Erde nach A′ fortgeführt wird und auch der fallende Körper durch die Trägheit dieſe Bewegung beibehält, ſo müſſen ſich beide Bewegungen A B und A A′ zuſammenſetzen. Wären nun die beiden Bogen A A′ und B B′ einander gleich, ſo würde der Körper genau in B′ ankommen, da aber A A′ als Bogen eines größern Kreiſes etwas länger iſt, ſo eilt der Körper dem langſamer ſich bewegenden Fuße des Thurmes etwas voraus und gelangt nach C. Dieſe Abweichung iſt ein directer Beweis für die Umdrehung der Erde, und ſie zeigt ſich deutlich ſowohl in den von Benzenberg auf dem Michaelisthurme zu Hamburg, als auch in den von Reich im Drei-Brüder-Schachte zu Freiberg angeſtellten Verſuchen. Die letztern Verſuche, bei denen jeder ſtörende Einfluß auf das ſorgfältigſte vermieden und aus vielen einzelnen Beſtimmungen ein Mittelwerth genommen wurde, geben eine öſtliche Abweichung von 13,03 Linien bei einer Fallhöhe von 505 preußiſchen Fußen, in faſt vollkommener Uebereinſtimmung mit der Rechnung, welche 12,62 Linien verlangt.[1]

Bewegung geworfener ſchwerer Körper.

Die Ueberzeugung, daß die Schwerkraft eine gleichförmig beſchleunigende Kraft ſey, führt nun zu einer Menge von Anwendungen, die freilich durch den Widerſtand der Luft ſehr beträchtliche Beſchränkungen erleiden, aber darum doch nicht weniger merkwürdig ſind. Wenn ein Körper vertical aufwärts geworfen wird, ſo raubt die Schwerkraft ihm in jeder Secunde eben ſoviel Geſchwindigkeit, als er bei freiem Falle erlangen würde. Hatte er alſo beim Wurfe aufwärts, in genau verticaler Richtung, eine Geſchwindigkeit von 30 Fuß, ſo ſteigt er nur 1 Secunde lang und alſo nur 15 Fuß hoch; hatte er 60 Fuß Geſchwindigkeit, ſo nimmt dieſe in 1 Secunde auf 30 Fuß ab, und ſein Weg in der erſten Secunde iſt der mittlern Geſchwindigkeit zwiſchen 60 und 30 gleich, = 45 Fuß; in der zweiten Secunde verliert er alle Geſchwindigkeit und ſteigt nur noch 15 Fuß, überhaupt alſo 60 Fuß, eben ſo hoch, als er fallen muß, um 60 Fuß Geſchwindigkeit zu erlangen. Werfe ich alſo einen Körper bis zu 100 Fuß Höhe, ſo muß ich ihm ungefähr eine Geſchwindigkeit von 77 Fuß ertheilt haben, denn in $2\frac{1}{2}$ Secunden verliert er 75 Fuß Geſchwindigkeit und ſteigt 94 Fuß. — Wegen des Widerſtandes der Luft fordert ein ſo hohes Steigen ſogar noch etwas mehr anfängliche Geſchwindigkeit. Wendet man dieſe Regeln auf unſer Schießgewehr an, ſo ergiebt ſich, daß dieſes die Kugeln bei verticaler Richtung bis zu ſehr großen Höhen führen

[1] F. Reich, Fallverſuche über die Umdrehung der Erde. Freiberg 1832.

müßte, aber ich werde künftig zeigen, wie ſehr der Widerſtand der Luft dieſe Höhen vermindert. Wäre dieſer Widerſtand nicht vorhanden, ſo würde eine mit 1500 Fuß anfänglicher Geſchwindigkeit aufwärts geſchoſſene Kugel 50 Secunden lang ſteigen, weil die Schwere in jeder Secunde nur 30 Fuß Geſchwindigkeit raubt; ſie hätte dann am Anfang der 1. Secunde 1500 Fuß, am Ende der 1. Secunde 1470 Fuß Geſchwindigkeit und durchliefe in der erſten Secunde 1485 Fuß; ſie hätte am Anfang der zweiten Secunde 1470 Fuß, am Ende der zweiten Secunde 1440 Fuß Geſchwindigkeit und durchliefe in dieſer Secunde 1455 Fuß; in der dritten Secunde Anfangsgeſchwindigkeit = 1440, Endgeſchwindigkeit = 1410, durchlaufener Weg 1425 Fuß, alſo in 3 Secunden 4365 Fuß, und wenn man ſo durch 50 Secunden fortrechnet, ſo iſt bei einer Höhe = 50 . 50 . 15 = 37500 Fuß alle Geſchwindigkeit verloren, und ſo hoch würde ein Kanonenſchuß von 1500 Fuß Geſchwindigkeit reichen.

Die richtige Kenntniß des Weges, welchen der fallende Körper in jeder Secunde durchläuft, führt uns aber noch weiter auch zu der Beſtimmung der gekrümmten Bahn, die ein in ſchiefer oder in horizontaler Richtung geworfner Körper durchläuft. Es verſteht ſich, daß wir auch dabei für jetzt an den Widerſtand der Luft nicht denken, obgleich er allerdings in der Anwendung ſehr wichtig iſt. Eine Zeichnung führt uns am leichteſten zur Kenntniß jener gekrümmten Bahn, wenn wir die Zeichnung der Ueberlegung gemäß einrichten, daß der Körper, ohne Einwirkung der Schwere, auf ſeiner anfänglichen Richtungslinie mit immer gleicher Geſchwindigkeit fortgehen würde, durch die Schwere aber um 15 Fuß in 1 Secunde, um 60 Fuß in 2 Secunden, um 135 Fuß in 3 Secunden herunter gezogen wird, u. ſ. w. Stellt nämlich (II. Fig. 20) A B die Richtung des anfänglichen Wurfes vor, ſo tragen wir darauf die Punkte C, D, E, F auf, bis zu welchen der geworfne Körper in jeder Secunde gelangen würde, wenn er, bloß der Trägheit unterworfen, ſeine Geſchwindigkeit ungeändert behielte; von jedem dieſer Punkte ziehen wir Verticallinien herunter und nehmen auf der erſten C c = 15 Fuß, auf der zweiten D d = 60 Fuß, auf der dritten E e = 135 Fuß, auf der vierten F f = 240 Fuß, dann bezeichnen c, d, e, f die Punkte, wohin der geworfne Körper am Ende jeder der vier erſten Secunden gelangt. Die Gründe hiefür ſind ſo einleuchtend, daß ich kaum nöthig habe, ſie zu erwähnen. Sie werden noch einleuchtender, wenn man eben das Verfahren auf die Bewegung des vertical aufwärts geworfenen Körpers anwendet. Dieſer ſollte, mit 1500 Fuß anfänglicher Geſchwindigkeit geworfen, am Ende der erſten, zweiten, dritten u. ſ. w. Secunde auf 1500, 3000, 4500, 6000, 7500, 9000 Fuß Höhe angekommen ſeyn, die Schwere aber zieht ihn in 1 Sec. 15 Fuß, in 2 Sec. 60 Fuß, in 3 Sec. 135 Fuß, in 4 Sec. 240 Fuß, in 5 Sec. 375 Fuß, in 6 Sec. 540 Fuß herunter, alſo erreicht er am Ende der einzelnen Secunden nur 1485, 2940, 4365, 5760, 7125, 8460 Fuß Höhe.

Dieſe Art, die Betrachtung anzuſtellen, ſo als ob die eine der beiden

Urſachen für ſich allein wirkend zu der Wirkung der andern hinzuträte, iſt hier beſonders darum ſo leicht, weil die Richtungen der Schwere in allen Punkten, die ein von uns geworfener Körper erreicht, unter ſich parallel ſind.[1] Sie führt aber zugleich noch zu einigen einfachen Folgerungen. Erſtlich, wenn ich auf der horizontalen Ebne A H (II. Fig. 20) ſo fortgehe, daß der geworfne Körper immer genau über mir ſchweben würde, wenn keine Schwere wirkte, ſo thut er das auch, obgleich die Schwere einwirkt, nur mit dem Unterſchiede, daß er mir in der Verticallinie näher kommt und mich endlich irgendwo in I erreicht. Zweitens, wenn man vom höchſten Punkte der Bahn eines geworfnen Körpers eine horizontale Linie L M zieht und auf ihre gleiche Theile L N, N O, O P aufträgt, ſo iſt der Körper in f viermal ſo tief unter O, als er in e unter N war, und in p 9 mal ſo tief unter P, als er in e unter N war; es ſind nämlich e N, f O, p P die Fallräume in 1, in 2, in 3 gleichen Zeittheilen. Drittens der Gipfel oder der höchſte Punkt der Wurflinie liegt genau halb ſo hoch, als der Punkt Z, den der Körper ohne Einwirkung der Schwere in eben der Zeit, in welcher er wirklich nach L kommt, erreicht hätte. Dieß hängt mit der bei verticalem Wurfe erreichten größten Höhe zuſammen, die in 50 Sec. 75000 Fuß geweſen wäre, wenn die anfängliche Geſchwindigkeit = 1500 Fuß ungeändert fortgedauert hätte, aber nur halb ſo groß = 37500 Fuß iſt wegen der Einwirkung der Schwere, welche die Geſchwindigkeit *gleichförmig* von 1500 Fuß auf Null herabſetzt, und daher den Körper nur eine Höhe erreichen läßt, die der zwiſchen 0 und 1500 Fuß in der Mitte liegenden Geſchwindigkeit entſpricht.

Die beiden zuletzt angeführten Eigenſchaften der Wurflinie zeigen dem Geometer, daß dieſe Linie eine *Parabel* iſt, die nämlich die beiden Eigenſchaften hat, daß in jedem Punkte die Tiefe P p dem Quadrate von L P proportional iſt, und daß jede Tangente A Z eben ſo hoch über dem Scheitel in die Axe einſchneidet, als der Berührungspunkt A unterhalb des Scheitels L liegt.

Wenn man den Wurf ſehr nahe vertical richtet, ſo iſt offenbar die horizontale Wurfweite A B (II. Fig. 21) gering wegen der zu großen Höhe der Parabel A Z B; aber auch wenn man den Wurf beinahe in horizontaler Richtung ſtattfinden läßt, iſt die Wurfweite A D gering, weil die geworfene Kugel zu bald unter die Horizontallinie A M herabſinkt; der weiteſte Wurf fordert daher eine mittlere Richtung. — Daß die Neigung von 45 Graden, bei gleicher Geſchwindigkeit, den weiteſten Wurf A E giebt, läßt ſich freilich nur mit Hülfe einer ſtrengern Theorie überſehen, aber wer nach den vorigen Regeln zeichnet, kann ſich auch durch Zeichnung überzeugen, daß es ſo iſt. Ein Wurf mit 283 Fuß Geſchwindigkeit unter 45 Gr. geneigt iſt ſo anzuſehen, als ob er dem Körper 200 Fuß horizontale und 200 Fuß verticale Geſchwindigkeit ertheilte,[2] deſ

[1] Wenn man zwei Bleilothe neben einander aufhängt, ſo convergiren ſie ſtreng genommen etwas nach unten zu; aber bei Bleilothen von 200 F. Länge und einem Abſtande von 95 F. beträgt dieſe Annäherung nur $^1/_{10}$ Linie.

[2] Weil ein Dreieck, deſſen horizontale und deſſen verticale Seite jede 200 ſind, zur dritten Seite 283 hat.

Körper ſteigt daher $6\frac{2}{3}$ Sec. und erreicht in dieſer Zeit die halbe Höhe = 666 Fuß, die er mit ſeiner anfänglichen verticalen Geſchwindigkeit erlangen ſollte, in dieſer Zeit kommt der Körper in horizontaler Richtung 1333 Fuß vorwärts, und ebenſoviel während der Körper fällt, alſo iſt 2667 Fuß die Wurfweite.

Wäre keine Luft in der Nähe der Erde, ſo würden wir mit den Geſchwindigkeiten von 1800 oder 2000 Fuß, die wir den Kanonenkugeln zu ertheilen im Stande ſind, ſehr große Entfernungen erreichen können, mit 2000 Fuß Anfangsgeſchwindigkeit bei 45 Grad Neigung eine Weite von 132,550 Fuß, und bei größern Geſchwindigkeiten immer noch größere Weiten. Dieß führt zu der Frage, ob eine ſo große Wurfgeſchwindigkeit denkbar ſey, daß dabei der geworfne Körper rund um die Erde herum geführt werde?

Bewegung um einen anziehenden Mittelpunkt.

Daß die Erde eine Kugel iſt, darf ich hier wohl als aus andern Beobachtungen bekannt annehmen, und daß die Schwere überall, wo man auf der Erde hin kömmt, gegen ihren Mittelpunkt gerichtet iſt, lehrt, wie ich ſchon ſonſt erwähnt habe, die Erfahrung. Wird ein Körper horizontal, nach der Richtung A B (II. Fig. 22), ſenkrecht gegen die Richtung der Schwere, geworfen, ſo würde er ſich vom Mittelpunkte der Erde entfernen, wenn er bloß der Trägheit gemäß fortginge. Die Kraft der Schwere nöthigt ihn, ſich der Erde zu nähern, und wir können dem Körper eine ſo große anfängliche Geſchwindigkeit in Vergleichung gegen die Schwere beilegen, daß der Fall ihn am Ende der erſten Minute genau durch B C geführt und wieder ebenſo nahe zum Mittelpunkte der Erde gebracht hat, als er beim Anfange ſeiner Bewegung von demſelben entfernt war. Iſt aber das der Fall, ſo durchläuft er in der Zwiſchenzeit den ganzen Kreisbogen A C, weil dieſer in D, wo A D = D C = $\frac{1}{2}$ A C iſt, um E D nahe gleich $\frac{1}{4}$ B C, und da, wo die Entfernung = $\frac{1}{3}$ A C iſt, um $\frac{1}{9}$ B C von der graden Linie entfernt iſt. So läßt ſich die Möglichkeit, daß ein geworfner Körper einen Umlauf um die Erde mache, überſehen. Aber damit ein horizontal geworfner Körper genau immer gleich weit von der Erde bleibe, muß er ſo ſchnell geworfen werden, daß er in 1 Sec. den Punkt B erreiche, wo B C = 15 Fuß iſt, und dieſes fordert bei einem Kreiſe von 19600000 Fuß Halbmeſſer oder bei der Größe der Erde eine Entfernung A B = 24400 Fuß. So weit müßte alſo der geworfne Körper in 1 Sec. fortgehen, damit an der Oberfläche der Erde der Fall in 1 Sec. ihn genau wieder auf den Kreis A C zurückführe.

Nach dieſen Geſetzen bewegt der Mond ſich um die Erde; aber die Berechnung der Größe ſeiner Bahn und der Zeit ſeines Umlaufs um die Erde zeigt, daß er, auf der Berührungslinie fortgehend, erſt in 1 Minute ſich um 15 Fuß von der Erde entfernen würde, und da die Erfahrung zeigt, daß er in immer gleicher Entfernung von ihr erhalten wird, und dieß ohne Zweifel durch die anziehende Kraft der Erde, ſo ſchließen wir, daß dieſe Anziehungskraft

nur ein Fallen von 15 Fuß in 1 Minute bewirkt, ſtatt daß nahe an der Erde ein Körper in 1 Sec. 15 Fuß fällt und in 1 Minute 54,000 Fuß durchfallen würde. So ergiebt alſo eine richtige Erwägung der Erfahrungen, daß die anziehende Kraft der Erde in der Ferne abnimmt, und zwar ſo abnimmt, daß ſie in der Gegend des Mondes, das iſt 60 mal ſo weit vom Mittelpunkte der Erde, als wir auf der Oberfläche der Erde uns von ihrem Mittelpunkte entfernt befinden, nur $\frac{1}{60} \cdot \frac{1}{60}$ oder $\frac{1}{3600}$ ſo groß, als bei uns, iſt. Dieſes aus einer Erfahrung abgeleitete Geſetz, daß die Anziehungskraft ſich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhält, beſtätigt ſich auch bei der Sonne. Die Erde durchläuft auf ihrer Bahn um die Sonne in jeder Minute 248 Meilen, und würde ſich, wenn ſie dieſen Raum auf der Berührungslinie der Erdbahn, nicht angezogen von der Sonne, durchliefe, in 1 Minute um 35 Fuß von der Sonne entfernen; die anziehende Kraft der Sonne erhält ſie aber in ihrer Bahn und nöthigt ſie alſo, in 1 Minute 35 Fuß gegen die Sonne zu von der Tangente abzugehen. Der Mercur, welcher $\frac{2}{5}$ mal ſo weit als die Erde von der Sonne entfernt iſt, durchläuft in jeder Minute beinahe 400 Meilen und würde ſich dabei auf der Tangente ſeines kleinern Kreiſes 230 Fuß von der Sonne entfernen, wenn er ohne Anziehungskraft der Sonne nach dem Geſetze der Trägheit, fortginge; die Attraction der Sonne bringt ihn auf ſeinen Kreis zurück und zieht ihn alſo 230 Fuß von der Tangente abwärts. Dieſe 230 Fuß ſind, ſo nahe als das nur oberflächlich angegebene Verhältniß 1 : $\frac{2}{5}$ geſtattet[1], $\frac{5}{2} \cdot \frac{5}{2} \cdot 35$, alſo iſt auch hier die anziehende Kraft dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional. Genau ebenſo ergiebt es ſich für alle Planeten.

Wäre die Anziehungskraft der Sonne nicht genau ſo groß, daß der Planet zu der völlig gleichen Entfernung herangezogen würde, ſo erhielte ſeine Bahn eine etwas von der Kreisform abweichende Geſtalt, und eine genauere Betrachtung zeigt, daß die Bahn dann eine ovale oder genauer ausgedrückt eine elliptiſche Form erhält. In der Sonnennähe geht nämlich der Planet ſo ſchnell fort, daß die Anziehungskraft der Sonne ihn nicht ganz bis an den Kreis zurückführen kann; er fängt daher an, ſich etwas von der Sonne zu entfernen, indem er aber dieß thut, erhält die Kraft der Sonne immer mehr eine Richtung, die dem Fortgange des Planeten entgegengeſetzt iſt, ſie vermindert daher nun ſeine Geſchwindigkeit auf ähnliche Weiſe, wie es die Schwerkraft bei einem ſchief aufwärts geworfenen Körper thut, und dadurch verliert er nach und nach ſeine Geſchwindigkeit ſo, daß er endlich, ſtatt ſich weiter zu entfernen, der Sonne wieder näher rückt, und indem er nach ſeiner Sonnenferne genau ebenſo ſich der Sonne wieder nähert, wie er vor der Sonnenferne ſich von ihr entfernte, ſo gelangt er nach einem vollen Umlaufe in eben den Punkt zurück, von welchem er ausgegangen war. Daß ſeine Bahn dadurch, daß in G (II. Fig. 23.) eine zu große Geſchwindigkeit ihn über den um die

[1] Statt $\frac{2}{5}$ ſollte es genauer $\frac{16}{41}$ heißen, und es iſt $\frac{41}{16} \cdot \frac{41}{16} \cdot 35 = 229\frac{13}{16}$, faſt genau 230.

Sonne C gezogenen Kreis hinaustreibt, eine Ellipſe wird, die genau beſtimmte Linie nämlich, die man mit einem in C und c feſtgeknüpften Faden beſchreibt, wenn man dieſen mit dem Bleiſtifte, der die krumme Linie zeichnen ſoll, nach C F c, C E c geſpannt erhält, — das zu beweiſen wäre hier zu ſchwierig, und ich verweile hier um ſo mehr nicht allzu lange hiebei, da dieſe Betrachtungen zum Theil der Aſtronomie angehören [1] und ſo zahlreiche andre Gegenſtände hier unſre Aufmerkſamkeit auf ſich ziehen. Die Hauptgeſetze, welche der Planet bei ſeiner Bewegung um die Sonne befolgt, ſind die, daß er eine Ellipſe durchläuft, und ſich in dieſer ſo fortbewegt, daß die Sectoren in gleichen Zeiten gleich ſind, das heißt, wenn der Planet in 10 Tagen von A nach B und in andern 10 Tagen von F nach E gelangt, ſo ſind die Flächenräume A C B, E C F gleich, wo nämlich C die Sonne bedeutet; — ſeine Bewegung iſt alſo in der Sonnenferne bei A viel langſamer, als in der Sonnennähe bei G, weil die Sonne ſeine Geſchwindigkeit vermehrt, während er von A nach F und von F nach G läuft.

Ob Meteorſteine vom Monde zu uns fallen können?

Die in der Aſtronomie, bei der Berechnung des Laufes der Planeten, ſo wichtige Bemerkung, daß alle Himmelskörper eine anziehende Kraft beſitzen, und daß wir dieſe anziehende Kraft als eine allgemeine Eigenſchaft aller Materie anſehen können, führt zur Beantwortung mehrerer Fragen, die auch hier nicht unerwähnt bleiben dürfen. Die ſo oft gemachte Beobachtung, daß Steine vom Himmel fallen, hat zu der Unterſuchung Veranlaſſung gegeben, ob dieſe Meteorſteine vielleicht vom Monde zu uns herübergeworfen werden könnten. Gründe, von welchen ich bald noch etwas mehr ſagen will, zeigen, daß der Mond nur etwa $^1/_{75}$ ſo viel Anziehungskraft als die Erde hat, und wenn man alſo den Abſtand der Erde vom Monde in zehn gleiche Theile eintheilt, ſo iſt im neunten Theilungspunkte die Anziehungskraft der Erde etwas ſchwächer, als die des Mondes, weil ſie nur $^1/_{81}$ von dem iſt, was ſie bei neunmal ſo großer Nähe ſeyn würde. Befände ſich alſo ein Körper etwa in der Mitte zwiſchen dem achten und neunten Theilungspunkte, ſo würde er, vom Mond und der Erde gleich ſtark angezogen, ſchwebend bleiben, und wenn ein Körper vom Monde aus mit ſolcher Gewalt geworfen würde, daß er ſich 5200 bis 5300 Meilen von ihm entfernte, ſo würde er jenen Punkt erreichen, und wenn er etwas weniges darüber hinaus gelangte, zur Erde herab fallen und auf derſelben mit etwa 35,000 Fuß Geſchwindigkeit in der Secunde anlangen. Hieraus läßt ſich beſtimmen, daß eine Geſchwindigkeit von 7600 Fuß in der Secunde für einen auf dem Monde aufwärts geworfenen Körper ausreicht, um ihn ſo weit fortzutreiben, daß er nicht auf den Mond zurückfallen könnte, ſondern zur Erde herübergehen müßte, wenn nämlich die Richtung des Wurfes gegen die Erde zu ginge.

Dieß würde jedoch Alles nur gelten, wenn Erde und Mond einander

[1] Vgl. Brandes Vorleſ. über d. Aſtronomie. I. Th. S. 169.

ruhend gegenüberſtänden, und bei genauerer Berückſichtigung der übrigen mitwirkenden Umſtände zeigt ſich die Unhaltbarkeit jener Hypotheſe. Bei weitem gegründeter iſt die Annahme, daß Meteorſteinfälle, Feuerkugeln und Sternſchnuppen verwandte Erſcheinungen ſind, und durch unzählige Stücke planetariſcher Maſſe hervorgebracht werden, die wie kleine Planeten die Sonne umkreiſen und, zufällig mit der Erde zuſammentreffend, entweder nahe vorüberfliegen oder herabfallen. Am meiſten ſpricht hiefür die Beobachtung, daß ſich die Sternſchnuppen in den Nächten vom 13. zum 14. November und vom 10. zum 11. Auguſt beſonders häufig zu zeigen pflegen [1] und daß ſie dann in den übereinſtimmenden Richtungen ihrer ſcheinbaren Bahnen ſehr deutlich die eigene Bewegung der Erde erkennen laſſen. Beides läßt ſich füglich nur durch die Annahme erklären, daß es zwei beſonders zahlreiche Züge ſolcher Körper gibt, die ringförmig die Sonne umſchließen, und daß dieſe beiden Ringe grade an den Punkten die Erdbahn durchkreuzen, in welchen die Erde an den genannten Tagen ſich befindet.

Maſſe der Sonne.

Daß der Mond, wie ich vorhin erwähnte, eine nur $1/_{75}$ ſo ſtarke Anziehungskraft als die Erde beſitzt, hat man theils aus ſeiner Wirkung auf das Meer, welche ſich in der Ebbe und Fluth zeigt, theils aus den Störungen, die er im Laufe der Erde hervorbringt, geſchloſſen; bei der Sonne läßt ſich das Maaß der Anziehungskraft leichter finden. Nach dem Geſetze nämlich, daß die Anziehungskraft in der zehnfachen Entfernung nur ein Hundertel deſſen beträgt, was ſie in der einfachen Entfernung war, müßte die Anziehungskraft der Erde in der Entfernung, wo die Sonne ſich befindet, 400 mal ſo weit als der Mond von uns iſt, nur $1/_{160000}$ deſſen betragen, was ſie da beträgt, wo ſich der Mond befindet. Da ſie nun den Mond um 15 Fuß in 1 Minute zu ſich heranzieht, ſo würde ſie einen ſo weit als die Sonne entfernten Körper nur $15/_{160000}$ Fuß in 1 Minute forttreiben; die Sonne dagegen zieht die Erde in 1 Minute 35 Fuß, das iſt weit über 300,000 mal ſo viel von der Tangente ihrer Bahn ab; die Wirkung der Sonne iſt alſo in gleicher Entfernung weit über 300,000 mal ſo groß, als die Wirkung der Erde, und da wir dieſe Anziehungskraft als eine Eigenſchaft, die jedem Theilchen Materie eigen iſt, anſehen, ſo legen wir der Sonne eine mehr als 300,000 mal ſo große Maſſe als der Erde bei, und berechnen auf ähnliche Weiſe die Maſſen der Planeten.

Anziehungskraft der Berge.

Ich ſchließe hier noch einige Phänomene an, die auf dieſe gegenſeitige Anziehungskraft der materiellen Theilchen und auf die Anziehungskraft der

[1] Am Morgen des 13. November 1833 wurde in Amerika die vollkommenſte dieſer Erſcheinungen beobachtet. Sie war ſichtbar auf einem Raume von etwa 100000 Quadratmeilen, ſie dauerte ungefähr ſechs Stunden, und die Zahl der meiſt ſehr glänzenden Sternſchnuppen während dieſer Zeit wurde auf 200000 geſchätzt. Alle ſchienen ziemlich genau von dem Punkte des Himmels auszugehen, nach welchem ſich die Erde gerade hinbewegte.

Weltkörper auf einander Beziehung haben. Das eine dieſer Phänomene beantwortet die Frage, ob denn jeder Theil der Erde eine ſolche Attractionskraft beſitzt, das andre zeigt, daß der Mond auf alle Theilchen der Erde anziehend wirkt. Wenn jeder Theil der Erde eine Anziehungskraft beſitzt, ſo iſt offenbar, daß eine kugelförmige Erde alle Körper genau gegen ihren Mittelpunkt anzieht, denn da (**II. Fig. 24**) nach allen Seiten der Linie A C die anziehenden Theilchen gleichförmig liegen, ſo heben die ſeitwärts ziehenden Kräfte ſich einander auf, und ſelbſt die in B, D, gleich entfernt von A, liegenden Theilchen bringen zuſammen einen verticalen Zug nach A C hervor. Aber wenn ſich auf der Oberfläche dieſer kugelförmigen Erde ein Berg E befindet, ſo übt dieſer eine an der andern Seite nicht ausgeglichene Seitenkraft aus, und die Richtung der Schwere muß in A ein wenig nach der einen, in G ein wenig nach der andern Seite von der Verticallinie abweichen. Eine ſolche Ablenkung findet man wirklich in der Nähe von Bergen, und obgleich der Winkel, um welchen die Richtung der Schwere dadurch geändert wird, ſehr gering iſt, ſo hat man ihn doch, namentlich bei den ausdrücklich zu dieſem Zwecke an dem Berge Shehallien angeſtellten Beobachtungen, wahrnehmen können. Dieſe Wahrnehmung findet nämlich dadurch ſtatt, daß wir am Himmel ſehr genau beſtimmen können, wie weit die nach dem Mittelpunkte der Erde gehenden Richtungen A C, G C, bei bekannter Entfernung der Beobachtungsorte A, G, von einander abweichen müſſen, und nun an den in A und in G durch das Zenith gehenden Sternen ſehen, ob die beiden Verticallinien dieſe Richtungen haben. Die bei dieſer Beobachtung ſich ergebende Abweichung bietet ein Mittel dar, die Dichtigkeit der ganzen Erde zu beſtimmen, wenn man die Dichtigkeit des die Ablenkung bewirkenden Berges kennt. Wäre die Mitte dieſes Berges, wo man ſich ſeine Maſſe vereinigt denken kann, ein Tauſendtel ſo weit, als der Mittelpunkt der Erde, von G entfernt, ſo würde eine Maſſe in E eine Million mal ſo ſtark als eine gleiche in C wirken, betrüge alſo der Berg ein Tauſend-Milliontel der ganzen Erde, ſo zöge eine tauſendfache Kraft nach C und eine einfache nach E, woraus die Richtung der Mittelkraft, als die Richtung des Lothes, hervorginge. Kennt man umgekehrt dieſe aus Beobachtungen und weiß zum Beiſpiel, daß die Erde 2000 Millionen mal ſo ſtark wirkt, obgleich ihr Volumen nur 1000 Millionen mal ſo groß als der Berg wäre, ſo würde man ihr eine doppelt ſo große Dichtigkeit, als dem Berge zuſchreiben. Die Berechnungen jener Verſuche am Shehallien geben die Dichtigkeit der Erde ungefähr 5 mal ſo groß als die Dichtigkeit des Waſſers, und die auf dem Mont Cenis angeſtellten Verſuche, welche die Schnelligkeit der Pendelſchwingungen zum Gegenſtande hatten, haben Carlini die Dichtigkeit beinahe $4\frac{1}{2}$ mal ſo groß, als die des Waſſers, angegeben.

Man hat die Kraft der Schwere noch auf eine andre Weiſe mit der Anziehungskraft kleiner Körper zu vergleichen geſucht. Cavendiſh bediente ſich hiezu der Drehwaage. Ein leichter Waagebalken, an beiden Enden mit Bleimaſſen beſchwert, hängt an einem ſehr feinen Faden, und kommt in der

Stellung zur Ruhe, wo der Faden ganz ungedreht iſt. Nähert man nun mit aller Vorſicht von der Seite her eine andre Bleimaſſe, ſo bringt ihre Anziehung auf die Bleimaſſe des Waagebalkens eine kleine Drehung hervor, und da man durch andre Mittel beſtimmen kann, welche Gewalt nöthig iſt, um dem Faden eine Drehung, die einen Umlauf, zwei Umläufe u. ſ. w. beträgt, zu ertheilen, ſo kennt man auch jene aus der Anziehung hervorgehende, eine nur ſehr kleine Abweichung bewirkende Kraft, und kann ihr Verhältniß zu dem Gewichte der Bleimaſſen und daher ihr Verhältniß zur anziehenden Kraft der Erde herleiten. Mit dem Reſultate von Cavendiſh ſtimmen Reich's äußerſt ſorgfältige, auch mit der Drehwaage angeſtellte Verſuche genau überein, und zwar findet ſich aus einer großen Zahl einzelner Beſtimmungen die mittlere Dichtigkeit der Erde am wahrſcheinlichſten = 5,44 in Vergleichung mit der des Waſſers.[1]

Anziehung im Innern der Kugel und in der Ferne.

An die Kenntniß, daß jeder Theil der Erde eine anziehende Kraft ausübe, ſchließen ſich noch einige merkwürdige Lehrſätze an, nämlich die zwei, daß die Anziehungskraft einer überall gleich dichten Kugel auf Gegenſtände außerhalb der Kugel genau ſo iſt, als wenn die Maſſe der Kugel im Mittelpunkte vereinigt wäre, und daß im Innern der Kugel die oberhalb des angezogenen Punktes liegende Kugelſchicht gar keine Wirkung, kein Hinſtreben gegen den Mittelpunkt zu, noch auch das Entgegengeſetzte, hervorbringt. Beide Lehrſätze gelten nur in dem Falle, daß die Kraft der Anziehung ſich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernungen verhält, und der Beweis für den letzten iſt ſehr leicht zu führen. Es ſey A B C D (II. Fig. 25) eine dünne anziehende Kugelſchicht, M der innerhalb liegende angezogene Punkt. Zieht man durch M Linien wie N M n, O M o, und ſchneidet durch ſolche durch M gehende Linien kleine Kreisflächen N O, n o auf der Kugelfläche ab, ſo iſt die Kreisfläche N O viermal ſo groß als n o, wenn M N zweimal ſo groß als M n iſt, ebenſo N O = 9 . n o, wenn M N = 3 . M n iſt, und ſo weiter; da nun die 9fache Maſſe in der dreifachen Entfernung, die 16fache Maſſe in der vierfachen Entfernung u. ſ. w. nur ebenſo ſtark als die einfache Maſſe in der einfachen Entfernung wirkt, ſo heben die einander entgegengeſetzten, von N O, n o auf M ausgeübten Anziehungen einander auf, und da dieß für alle durch M gezogene Richtungslinien gilt, ſo leidet M nach keiner Richtung eine Anziehung von der gleichförmigen Kugelſchicht A B C D; eben dieß gilt, wenn auch die Kugelſchicht irgend eine größere Dicke hätte. Wäre die Erde alſo hohl und ihre innere Oberfläche hätte eine genaue Kugelform, ſo wie die äußere, ſo daß die Mittelpunkte beider zuſammenfielen, ſo würde ein Punkt M im Innern kein Beſtreben, nach irgend einer Seite hin zu fallen, zeigen. Aus eben dem Grunde iſt die Kraft der Schwere, wenn wir uns in die überall als gleich dicht vorausgeſetzte Erde hinabſteigend denken, immer geringer, je

[1] F. Reich Verſuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelſt der Drehwaage. Freiberg, 1838.

tiefer wir hinab kommen, immer nämlich nur durch die kleinere, noch unter uns liegende Kugel hervorgebracht. Könnten wir ſo tief in die Erde eindringen, daß wir den halben Erdhalbmeſſer über uns hätten, ſo wäre, wofern die Erde überall gleich dicht iſt, die Kraft der Schwere nur noch halb ſo groß, als an der Oberfläche; denn die unter uns bleibende Kugel iſt freilich bei halb ſo großem Durchmeſſer nur ein Achtel der ganzen Erde, aber der Mittelpunkt dieſer Kugel iſt nur halb ſo entfernt, alſo jedes Theilchen viermal ſo wirkſam, und jenes Achtel hat daher gleichwohl eine halb ſo große Wirkſamkeit, als die ganze Erde.

Ebbe und Fluth.

Ein zweites Phänomen wollte ich noch erwähnen, das in der phyſiſchen Geographie höchſt wichtig iſt und einen Beweis für die Anziehungskraft der Sonne und des Mondes giebt, nämlich die Ebbe und Fluth. Die Erde, die wir hier als ganz aus Waſſer beſtehend anſehen wollen, würde, wenn ſie ſich nicht um ihre Axe drehte, wegen der Anziehung aller ihrer Theile gegen einander, eine genaue Kugel ſeyn; aber die anziehende Kraft des Mondes ändert dieſe Kugelgeſtalt. Die Bewegung der Erde um die Sonne wird durch die anziehende Kraft der Sonne ſo beſtimmt, daß der Mittelpunkt der Erde immer genau auf dieſer Bahn bliebe, wenn kein Mond da wäre. Denken wir uns aber den Mond plötzlich zwiſchen die Sonne und Erde in L hingeſtellt (II. Fig. 26), wo er ſich im Neumonde befindet, ſo zöge er den Mittelpunkt C der Erde ein wenig aus der Bahn gegen die Sonne zu; aber der Punkt A wird ſeiner Nähe wegen ſtärker, der Punkt B wird ſeiner Ferne wegen ſchwächer von der Bahn abgezogen, und die Erde nimmt daher eine ovale, ſowohl bei A als bei B über den Kreis hinausgehende und bei D, E abgeflächte Form an. Dieſe Verlängerung iſt ſo unbedeutend, daß ſie nur ungefähr 10 Fuß beträgt, ſtatt daß der Halbmeſſer der Erde 19 Millionen Fuß iſt; aber eben dieſe 10 Fuß werden uns als ein Steigen des Waſſers in A und B, als ein Fallen des Waſſers in D und E, dort als Fluth, hier als Ebbe, merklich. Wäre der Mond im Viertel in M, ſo würde er die Bewegung der ganzen Erde gegen M zu ein wenig beſchleunigen, und dieſe Beſchleunigung würde den vorangehenden Punkt E am meiſten treffen, dieſer würde daher dem Mittelpunkte ein wenig vorauslaufen, und der entferntere, etwas weniger angezogene Punkt D würde etwas zurückbleiben, alſo auch hier eine Fluth, ſowohl an der Seite, wo der Mond ſteht, als an der andern Seite, ſtatt finden.

Die Erſcheinungen der Fluth und Ebbe ſtehen ſo genau mit dem Monde in Verbindung, ſie wiederholen ſich zweimal des Tages, und gerade dann, wann der Mond oberhalb des Horizontes und unterhalb des Horizontes in die gleiche Stellung gegen den Meridian kommt, ſo beſtimmt, daß Niemand daran, daß der Mond dieſe Erſcheinungen bewirkt, zweifeln kann. Die Fluthen ſind größer, wenn der Mond in der Erdnähe iſt, ganz ſo wie es dem

alsdann vergrößerten Unterſchiede der Anziehungskraft auf den nächſten Punkt der Erde und auf den Mittelpunkt angemeſſen iſt, und ebenſo ſind ſie am kleinſten, wenn der Mond in der Erdferne iſt. Auch der wichtige Umſtand, daß die Fluthen bei Neumond und Vollmond, die Springfluthen, höher, als bei den Vierteln, ſind, erklärt ſich aus eben den Gründen. Denn ſelbſt die Sonne allein würde ſchon eine geringe Fluth ſo wohl an der der Sonne zugekehrten Seite, als an der von ihr abgekehrten Seite der Erde hervorbringen; dieſe Sonnenfluthen vereinigen ſich mit den Mondfluthen, wenn der Mond als Neumond in L oder als Vollmond in l ſteht, hingegen treffen die durch die Sonne bewirkten Ebben in E, D mit den dort durch den Mond erregten Fluthen zuſammen, wenn ſich der Mond in M oder m befindet, und deshalb ſind bei den Vierteln die Fluthen weniger hoch und die Ebben weniger tief. Die Ungleichheit der bei den Springfluthen und bei den Viertelmondsfluthen eintretenden Waſſerhöhe lehrt uns die relative Stärke der Anziehung des Mondes, alſo ſeine Maſſe, kennen.

Die Menge der Gegenſtände, die ſich uns hier darbieten, erlaubt mir nicht, länger bei dieſem einzelnen Phänomene zu verweilen, und ich darf hier um ſo eher eine umſtändliche Erzählung aller einzelnen Umſtände weglaſſen, da man auch dieſen Gegenſtand in der Aſtronomie abzuhandeln pflegt. [1]

Achte Vorleſung.

Schwungkraft.

Bei der Bewegung eines Körpers im Kreiſe nehmen wir allemal ein Beſtreben fortzufliegen, eine Schwungkraft wahr, die den Faden, woran der Körper feſtgehalten wird, ausdehnt, ja ihn wohl gar zerreißt. Es wird Ihnen wohl nicht unerwartet ſeyn, wenn ich dieſe Schwungkraft als eine bloße Folge der Trägheit darſtelle. Indem ich den an dem Faden AG in G feſtgehaltenen Körper A nach der Richtung AB fortſtoße und ihm (II. Fig. 22) eine Geſchwindigkeit nach dieſer Richtung ertheile, erlangt der Körper das Beſtreben, auf der Linie AB fortzugehen und ſich alſo vom Mittelpunkte G zu entfernen. Der Faden AG hindert ihn, dieſem Antriebe Folge zu leiſten, und erhält ihn auf dem Kreiſe ADC, aber wenn der Faden ſehr ſchwach wäre, ſo würde er zerreißen und der bewegte Körper ginge auf AB fort. In dieſer Betrachtung bietet ſich uns ſogleich ein Mittel dar, die Stärke der Schwungkraft abzumeſſen. Wir wollen einen Faden wählen, der ſo ſtark iſt, daß er gerade ein Pfund tragen kann, und nun durch Verſuche beſtimmen, bei welcher Geſchwindigkeit der Faden reißt, ſo

[1] S. Vorleſungen über die Aſtronomie. Th. I. S. 223 und eine noch ausgeführtere Erklärung der Erſcheinungen der Ebbe und Fluth in Gehler's phyſ. Wörterb. Art. Ebbe. Ein ſehr anziehender populärer Aufſatz über denſelben Gegenſtand findet ſich in Schumacher's Jahrbuch für 1838.

würde ſich finden, daß ein ſchwerer herumgeſchwungener Körper den Faden bei geringerer Geſchwindigkeit zerreißt, ſtatt daß ein leichterer eine größere Schnelligkeit fordert. Doch dieſe Betrachtung verdient etwas ſorgfältiger angeſtellt zu werden.

Es ſei ADC (II. Fig. 22) der Kreis, auf welchem der Körper A herumgeführt wird, und es ſey die Geſchwindigkeit ſo groß, daß A in $1/8$ Sec. bis B gelangen und dabei um BC = $15/64$ Fuß vom Kreiſe entfernt werden würde, wenn der Faden dieſes nicht verhinderte. Da die frei wirkende Schwerkraft einen Körper in 1 Sec. durch 15 Fuß, in $1/8$ Sec. durch $15/64$ Fuß forttreibt, ſo iſt die Wirkung, welche die Schwungkraft hier auszuüben ſtrebt, genau ſo groß, als die Wirkung, welche die Schwere auszuüben ſtrebt, wenn das Gewicht am Faden hängend in Ruhe erhalten wird. Der Faden alſo, welcher ſtark genug iſt, das frei herabhängende Gewicht A zu tragen, wird auch ſtark genug ſeyn, um bei horizontalem Schwunge, unter den vorausgeſetzten Umſtänden, der Schwungkraft zu widerſtehen. Könnten wir uns an einen Ort hin begeben, wo die Schwerkraft nur ein Viertel ſo ſtark, als bei uns wirkte, ſo würden wir dieſes daran erkennen, daß dort die Körper nur durch $15/4$ Fuß in der erſten Secunde fielen, und ebenſo wird die Schwungkraft nur $1/4$ ſo mächtig als die Schwerkraft wirken, wenn die Entfernung BC, die ein im Kreiſe bewegter Körper in $1/8$ Sec. erlangen würde, wenn kein Faden ihn hielte, nur ein Viertel der vorhin angegebenen Größe wäre. Aber damit ED nur ein Viertel der BC ſey, muß AE = $1/2$ AB ſeyn; wenn folglich zwei Körper ſich auf demſelben Kreiſe von Fäden AC feſtgehalten bewegen, der eine aber halb ſo ſchnell als der andere iſt, ſo iſt bei jenem die Schwungkraft nur ein Viertel ſo groß, als bei dieſem, und allgemein wenn eben der Körper, auf demſelben Kreiſe oder immer an demſelben Faden gehalten, ſich herumbewegt, ſo verhält ſich die Schwungkraft, wie das Quadrat der Geſchwindigkeit. Ein Gewicht von einem Pfunde ſo geſchwungen, daß der in $1/10$ Sec. erreichte Abſtand zwiſchen Kreis und Tangente $15/100$ Fuß beträgt, fordert einen Faden, der ein Pfund tragen kann, aber doppelt ſo ſchnell bewegt fordert es einen Faden, der 4 Pfund tragen kann, weil dieſe doppelt ſo ſchnelle Bewegung es ſchon in $1/20$ Sec. um $15/100$ Fuß von der Tangente entfernt, ſtatt daß die Schwerkraft den Körper in eben der Zeit nur durch $15/400$ Fuß, durch ein Viertel jenes Raumes, fortzuführen vermag.

Würde eben der Körper von 1 Pfund das eine Mal auf dem Kreiſe AG (II. Fig. 27), das andre Mal auf dem Kreiſe ag von doppelt ſo großem Halbmeſſer fortgeführt, ſo entfernt er ſich bei gleicher Geſchwindigkeit nur halb ſo viel von dem großen Kreiſe als vom kleinen. Es iſt nämlich offenbar bf doppelt ſo groß, als BF, weil auf dem Kreiſe von doppelt ſo großem Halbmeſſer alle ähnlichen Längen doppelt ſo groß ausfallen; da nun, bei gleicher Geſchwindigkeit, der Körper das eine Mal AB, das andre Mal ad = $1/2$ ab durchläuft und hier der Abſtand de = $1/4$ bf = $1/2$ BF iſt,

ſo hat der Körper auf dem Kreiſe von doppelt ſo großem Halbmeſſer bei gleicher Geſchwindigkeit nur eine halb ſo große Schwungkraft, das iſt der Faden, welcher von einem Pfunde gerade zerriſſen würde, wenn dieſe Maſſe den Kreis AG durchliefe, könnte einer Maſſe von 2 Pfunden bei eben ſo ſchneller Bewegung auf ag Widerſtand leiſten. So verhält ſich immer die Schwungkraft umgekehrt wie der Halbmeſſer des Kreiſes. Daß aber endlich die Kraft, welche der geſchwungene Körper anwendet, um den Faden zu zerreißen, auch dem Gewichte dieſes Körpers proportional ſeyn muß, iſt offenbar; denn zwei Pfunde, an zwei Fäden gehalten, werden jeden derſelben unter ſonſt gleichen Umſtänden gewiß ſo ſpannen, wie 1 Pfund einen Faden.

Um die Verſuche mit der Schwungmaſchine gut zu überſehen, müſſen wir noch den Fall betrachten, wo zwei Körper in ungleicher Entfernung vom Mittelpunkte ihre Umläufe in gleichen Zeiten vollenden. Es ſey der Abſtand CA des einen halb ſo groß, als der Abſtand Ca des andern. Gehen nun beide in $^1/_{10}$ Sec. durch den Winkel ACB fort, ſo iſt die erlangte Entfernung bf von der Tangente ab bei dem ſchnellern doppelt ſo groß, als BF bei dem andern, und die Schwungkraft nimmt offenbar in eben dem Verhältniſſe zu. Wird dagegen daſſelbe Experiment ſo angeſtellt, daß die Drehungsgeſchwindigkeit nur halb ſo groß iſt, daß die Körper nur nach e und E in $^1/_{10}$ Sec. kommen, ſo iſt der erreichte Abſtand von der Tangente, nämlich de, nur ein Viertel des vorigen, bei doppelter Geſchwindigkeit ſteigt daher die Schwungkraft auf das Vierfache, bei dreifacher Geſchwindigkeit auf das Neunfache, und ſo ferner.

Verſuche mit der Schwungmaſchine.

Die Schwungmaſchine zeigt dieß für eine Menge von Fällen. Sie iſt am beſten ſo eingerichtet, daß eine mit mäßiger Geſchwindigkeit gedrehte Scheibe QR eine zweite Scheibe DE entweder durch eingreifende Zähne oder auch nur durch eine um AB (II. Fig. 28) gehende Schnur in ſehr ſchnelle Bewegung ſetzt; zählt man dann die Umdrehungen der einen Scheibe, ſo kennt man die Geſchwindigkeit der andern und kann dieſe bis zu einem hohen Grade vermehren. Legt man nun zuerſt auf die ſchnellere Scheibe kleine Kugeln in ungleichen Entfernungen vom Mittelpunkte in flachen Vertiefungen auf, ſo werden bei mäßiger Schnelligkeit zuerſt die entfernteren Kugeln, endlich bei größerer Schnelligkeit auch die dem Mittelpunkte näheren herausgeworfen und nur die im Mittelpunkte ſelbſt aufliegende bleibt immer in Ruhe. Wenn man über dieſer Scheibe ein Metallſtäbchen ſo befeſtigt, daß es, wie LM, mit der Scheibe parallel durch die Axe der Drehung geht, und durchbohrte Kugeln auf daſſelbe aufſchiebt, ſo gehen dieſe bei jeder Drehung ſogleich dem Umfange zu; denn obgleich die Bewegung nach der Tangente durch das Metallſtäbchen gehindert wird, ſo bleibt doch das Beſtreben, ſich vom Mittelpunkte zu entfernen, und ſo wie dadurch in andern Fällen bloß der Faden geſpannt wird, ſo zeigt ſich hier ein Zurückweichen vom Mittelpunkte. Verbindet man zwei

Kugeln N, O mit einem Faden und ſtellt ſie an die entgegengeſetzten Seiten des Mittelpunktes, ſo ſtreben ſie bei der Drehung einander entgegen, und es erhellt erſtlich leicht, daß keine zurückweichen kann, wenn beide gleich und beide in gleichen Abſtänden vom Mittelpunkte ſind, aber auch wenn N zwei Loth, O ein Loth wiegt, jene aber halb ſo weit als dieſe vom Mittelpunkte entfernt iſt, ſo halten ſich die Schwungkräfte im Gleichgewichte, weil bei gleichen Kugeln die halb ſo entfernt vom Centrum befindliche nur halb ſo viel Kraft ausüben würde, bei ungleichen Kugeln alſo unter den angegebenen Umſtänden eine Gleichheit der Kraft eintritt.

Die Schwungmaſchine kann zu genauer Abmeſſung der Schwungkraft angewandt werden. Zu dieſem Zwecke iſt in der Axe der Scheibe ſelbſt eine Säule errichtet, an welcher ein durchbohrtes Gewicht P ſich ohne erheblichen Widerſtand hinauf und hinab ſchieben läßt. Dieſes Gewicht, dem man durch zugelegte ſcheibenförmige Gewichte eine beſtimmte Größe geben kann, wird an einem Faden, der bei d und e über Rollen geht und an ſeinem andern Ende an die Kugel O befeſtigt iſt, gehalten, und muß alſo an dem Säulchen aufſteigen, wenn die Kugel O ſich vom Mittelpunkte entfernt. Man ſtellt nun die Kugel in eine beſtimmte Entfernung vom Mittelpunkte und ſetzt die Scheibe nach und nach in ſchnellere Drehung, wobei man die Geſchwindigkeit auf eine abgemeſſene Weiſe immer eine Zeit lang gleichmäßig fortwähren, dann erſt zunehmen läßt. Hat man eine hinreichende Geſchwindigkeit erreicht, ſo hebt die Kugel das Gewicht und die bewegende Kraft der Schwungkraft iſt alſo nun dem Gewichte gleich. Man ſtellt dann die Kugel O auf die doppelte Entfernung und ertheilt eben die Geſchwindigkeit, ſo hebt ſie ein doppelt ſo großes Gewicht, oder man bringt eine halb ſo große Kugel in doppelter Entfernung an, ſo hebt ſie bei der vorigen Geſchwindigkeit ein gleiches Gewicht, oder man verdoppelt die Anzahl der Umläufe in derſelben Zeit, behält aber dieſelbe Kugel in derſelben Entfernung bei, ſo hebt ſie ein viermal ſo großes Gewicht als vorhin.

Von den übrigen Erſcheinungen, welche die Schwungmaſchine zeigt, ſind beſonders folgende merkwürdig. Wenn man ein geſchloſſenes Gefäß, worin ſich eine gefärbte Flüſſigkeit befindet, auf die Axe der Scheibe befeſtigt, ſo daß das Gefäß ſelbſt um ſeine verticale Axe gedreht wird, ſo weicht, je ſchneller die Drehung iſt, deſto mehr, die Flüſſigkeit nach den Wänden des Gefäßes zurück, und es iſt daher bei geringer Drehungsgeſchwindigkeit die Oberfläche nur wenig ausgehöhlt, bei größerer Geſchwindigkeit aber die ganze Maſſe der Flüſſigkeit an der Wand des Gefäßes hinaufgedrängt und in der Mitte ein leerer Raum gelaſſen. Legt man die Röhre AB, worin etwas Queckſilber und Waſſer befindlich iſt, ſo wie Fig. 29 (Taf. II) zeigt, auf die Scheibe DE, ſo nimmt bei der Ruhe das Queckſilber den untern, alſo hier den der Axe G am nächſten liegenden Platz B ein; bei hinreichend ſchneller Bewegung aber entfernt ſich das Queckſilber am meiſten von der Mitte und bewirkt, daß die um C bewegliche Röhre mit ihrem Ende A niederſinkt. Dieß läßt ſich ſo

erklären. Wenn beim ſchnellen Schwunge ein Queckſilbertheilchen und ein Waſſertheilchen einander berühren, ſo drückt jedes derſelben mit einer ſeiner Maſſe proportionalen Kraft vom Centrum abwärts und das ſchwerere Queckſilbertheilchen verdrängt alſo das Waſſertheilchen, bis das Queckſilber den entfernteſten Theil der Röhre erreicht hat.

Man pflegt an der Schwungmaſchine auch ein Experiment zu zeigen, welches die Urſache der abgeplatteten Figur der Erde erklärt. Die Erde, welche vermöge der Attraction ihrer Theilchen eine genaue Kugelform annehmen würde, wenn ſie ganz aus Waſſer beſtände und keine Bewegung hätte, beſitzt, wie Ihnen bekannt iſt, eine Rotations-Bewegung um ihre Axe, und dadurch wird allen Theilchen eine Schwungkraft ertheilt. Diejenigen Theilchen, die um den Aequator der Erde liegen, haben, als am ſchnellſten bewegt, die meiſte Schwungkraft[1] oder das meiſte Beſtreben, ſich von der Axe zu entfernen, und obgleich die Anziehungskraft der Erde hindert, daß die Theilchen ſich ganz von der Erde trennen und fortfliegen, ſo wird doch ihre Schwere vermindert und es drängen ſich mehr Waſſertheilchen gegen den Aequator hin, ſo daß die Erde einen größeren Aequatordurchmeſſer erhält, als ſie ohne Drehung haben würde. Aber nicht allein in dieſer veränderten Geſtalt der Erde und der Verminderung der Schwerkraft äußert ſich die Wirkung der Schwungkraft, ſondern es wird auch die Richtung der Fallbewegung und der Lothlinie dadurch mehr oder weniger, freilich immer in höchſt geringem Grade, abgeändert. Wäre die Erde eine ruhende Kugel von überall gleicher oder ſymmetriſch um den Mittelpunkt geordneter Dichtigkeit, ſo würde überall das Bleiloth genau nach dem Mittelpunkte gerichtet ſeyn; ſchon die abgeplattete Geſtalt der Erde bringt hievon eine ſehr geringe Abweichung hervor, noch mehr aber die Schwungkraft, die überall ſenkrecht gegen die Erdaxe gerichtet iſt; da nämlich das Bleiloth der Schwungkraft und Schwerkraft zugleich folgt, ſo muß es die Richtung der Mittelkraft aus jenen beiden annehmen, und dieſe iſt überall genau ſenkrecht gegen die Berührungsebene des Sphäroids, welches durch die Meere und ſonſtigen flüſſigen Theile der Erdoberfläche gebildet wird. — Aus der Schnelligkeit der Umdrehung würde ſich die ſphäroidiſche Geſtalt der Erde berechnen laſſen, wenn die Erde ganz aus Waſſer beſtände und überall gleich dicht wäre; da dieß nicht der Fall iſt, ſo müſſen wir durch Abmeſſungen der Erde und durch die Experimente über die in verſchiedenen Gegenden ungleiche Kraft der Schwere, wovon ich ſpäter noch reden werde, ihre Geſtalt kennen lernen. — Um das nachzuahmen, was hier die Veränderung der Kugelgeſtalt in eine ſphäroidiſche bewirkt, ſchraubt man auf die Scheibe der Schwungmaſchine zwei ſenkrecht ſtehende kreisförmige Meſſingreifen, die auf ein verticales Stäbchen ſo aufgeſchoben ſind, daß ſie ſich daran

[1] Am Aequator beträgt die Schwungkraft $1/_{290}$ der Schwerkraft, und da ſie in demſelben Maaße als das Quadrat der Geſchwindigkeit zunimmt, ſo würde ſie bei 17 mal ſo ſchneller Umdrehung der Erde 289 mal ſo ſtark wirken und ziemlich genau der Schwerkraft gleich ſein; dann würden alſo am Aequator die Körper gar kein Beſtreben zum Fallen haben.

leicht verſchieben laſſen. Die Meſſingreifen ſind Kreiſe und werden durch ihre Elaſticität in dieſer Form erhalten; wenn man ſie aber um die durch ihren Mittelpunkt gehende Axe dreht, ſo ertheilt man den am meiſten von der Axe entfernten Theilen am meiſten Schwungkraft, und daher platten ſich die Reifen, die leicht biegſam ſeyn müſſen, ſo ab, daß die Axe kürzer als der auf ſie ſenkrechte Durchmeſſer wird. Bei der ſchnellen Drehung, wo unſer Auge keine einzelne Stellung der Reifen mehr deutlich wahrnimmt, ſcheint es dann, als ob eine ſphäroidiſche Maſſe den ganzen bei der Drehung durchlaufenen Raum ausfüllte. Die Abplattung iſt deſto ſtärker, je ſchneller die Umdrehung wird.

Noch ein Experiment, welches zugleich eine Zuſammenſetzung von Kräften, nämlich der zugleich wirkenden Schwerkraft und Schwungkraft, zeigt, gehört hierher. Wenn man (II. Fig. 30) an verticalen Stäbchen KI, GH ſchwere Kugeln aufhängt, ſo treibt die Schwungkraft dieſe Kugeln bei der Drehung der Scheibe DE vom Mittelpunkte C abwärts, die Schwerkraft dagegen treibt ſie niederwärts, und beiden Kräften folgend ſtellen ſich die Kugeln in eine ſchiefe Stellung, wie HL, IM, deſto mehr der horizontalen Richtung genähert, je ſchneller die Bewegung oder je größer überhaupt die Schwungkraft iſt, und bei einer die Schwerkraft ſehr weit übertreffenden Schwungkraft erreichen ſie eine nur wenig von der Horizontallinie abweichende Richtung.

Andere Erſcheinungen, die von der Schwungkraft abhängen.

Eine ähnliche Zuſammenſetzung der Kräfte iſt es, welche den auf ſeinem Pferde ſtehenden Kunſtreiter nöthigt, ſich ſtark nach dem Innern des Kreiſes, durch welchen er forteilt, zu lehnen. Hier nämlich würde die Schwungkraft ihn vom Sattel hinabſchleudern, wenn er grade auf demſelben zu ſtehen verſuchen wollte; er muß daher ſeinem Fuße eine Stütze in derjenigen Richtung geben, welche als Richtung der Mittelkraft aus Schwungkraft und Schwere hervorgeht, und die ganze Stellung ſeines Körpers lehnt ſich in dieſe Richtung, ja das Pferd ſelbſt lehnt ſich, vorzüglich bei ſehr ſchnellem Laufe im Kreiſe, ebenſo nach dem Innern des Kreiſes, und die Erfahrung lehrt, ſelbſt in gewöhnlicheren Fällen, den ungeſchickten Reiter, daß er, bei ſchneller Aenderung der Richtung ſeines Weges, ſich nach der innern Seite des von ihm beſchriebenen Bogens hin lehnen muß, damit er nicht zu ſtark nach der andern Seite getrieben werde und wohl gar das Gleichgewicht verliere. Ebenſo wirkt die Schwungkraft bei der Bewegung eines Dampfwagens auf einer gekrümmten Eiſenbahn; ſie würde daher bei zu ſtarker Krümmung den Wagen aus den Gleiſen herausſchleudern, und wenn auch ſchon die verſtärkte Reibung jede Krümmung als ein Hinderniß erſcheinen läßt, ſo iſt es doch beſonders dieſe Gefahr, welche macht, daß nur Krümmungen von ſehr großem Halbmeſſer angewandt werden können.

Die Schwungkraft zeigt ſich uns noch bei manchen anderen theils mehr ſpielenden, theils ernſthaften Anwendungen. Man kann ein in einen Reifen

geſtelltes Glas mit Waſſer bei einiger Geſchicklichkeit ſo herum ſchwingen, daß die Mündung des Glaſes zu unterſt gekehrt iſt, ohne daß das Waſſer ausläuft; denn wenn in demſelben Augenblicke, wo die Schwere das Waſſer aus der unten ſtehenden Mündung treiben ſollte, die Schwungkraft vertical aufwärts gerichtet und größer als die Schwerkraft iſt, ſo drängt ſie das Waſſer gegen den oben ſtehenden Boden des Gefäßes. Das Brummen der Brummkreiſel, womit die Kinder zu ſpielen pflegen, iſt auch eine Folge der Schwungkraft. Die in der hohlen Kugel enthaltene Luft drängt ſich nämlich bei der ſchnellen Rotation, durch die Schwungkraft getrieben, aus der Seitenöffnung heraus, und wenn die Luft größtentheils ausgetrieben iſt, hört das brummende Getöſe auf, bis gegen das Ende der Bewegung bei abnehmender Schnelligkeit die wieder eindringende Luft ein ähnliches Geräuſch macht.

Moment der Trägheit.

Wichtiger iſt die in der Maſchinenlehre vorkommende Frage, wie man die Drehungsgeſchwindigkeit der durch bewegende Kräfte angetriebenen Räder beſtimmt, und obgleich ich dieſe Lehre hier nur kurz berühren kann, ſo glaube ich doch den wichtigen Begriff des Momentes der Trägheit nicht übergehen zu dürfen, um ſo weniger, da ſich dadurch die überraſchend ſcheinende Behauptung Laplace's erklärt, daß wir aus aſtronomiſchen Beobachtungen, aus der Vergleichung alter und neuer Beobachtungen, ſchließen können, daß die Temperatur der Erde ſeit Hipparch's Zeiten nicht merklich abgenommen habe.

Wenn eine bewegende Kraft unmittelbar auf eine Maſſe wirkt, ſo ertheilt ſie derſelben eine beſtimmte Geſchwindigkeit, die, bei gleich lange dauernder Einwirkung, der Maſſe umgekehrt proportional iſt. Wir ſehen dieß zum Beiſpiel, wenn wir ein aufgehängtes ſchweres Gewicht in Bewegung zu ſetzen ſtreben, indem die Geſchwindigkeit, die wir ihm ertheilen können, deſto kleiner iſt, je größer die in Bewegung zu ſetzende Maſſe iſt. Aber nun ſey die zu bewegende Maſſe an einem Hebelarme AB angebracht, nach welchen Geſetzen richtet ſich dann die Geſchwindigkeit? Es ſey zuerſt (II. Fig. 31) die Maſſe in C und die Kraft wirke unmittelbar auf C, dann wird dieſe der Maſſe eben die Geſchwindigkeit ertheilen, wie bei gradlinigem Fortſchieben der Maſſe, und der Drehungswinkel wird ſich daher, bei gleich bleibender und einerlei Zeit lang gleichförmig wirkender Kraft, umgekehrt wie die Maſſe verhalten. Iſt dagegen die Maſſe in D angebracht, ſo daß AD = ½ AC iſt, ſo ertheilt dieſelbe in C wirkende Kraft ihr eine größere Winkelgeſchwindigkeit; denn aus der Lehre vom Gleichgewichte wiſſen wir, daß eine Kraft von einem Pfunde in C ebenſo viel bewirkt, als eine Kraft von 2 Pfunden in D; konnte alſo die in C wirkende Kraft der Maſſe, als ſie in C war, eine Geſchwindigkeit von 1 Fuß in der Secunde ertheilen, ſo wird ſie jetzt der in D befindlichen Maſſe eine Geſchwindigkeit von 2 Fuß in der Secunde ertheilen. Dieſe 2 Fuß in D betragen aber dort 4 Grade des Umfanges, wenn ſie in C zwei Grade

betrügen, weil der Umfang des von D beſchriebenen Kreiſes nur halb ſo groß iſt, und wir erhalten daher, daß eben die in C wirkende Kraft, welche eine in C befindliche Maſſe durch 1 Grad des Umfangs in 1 Sec. trieb, eben dieſe in D befindliche Maſſe durch 4 Grade treibt. Daß ebenſo die in $^1/_3$ der Entfernung vom Mittelpunkte verſetzte Maſſe durch 9 Grade fortgeführt wird, weil die wirklich in C wirkende Kraft in der Entfernung AE = $^1/_3$ AC dreimal ſo viel leiſtet, dreimal ſo große Geſchwindigkeit ertheilt, und dieſer dreimal ſo große Weg hier 9mal ſo viele Grade, als der einfache Weg auf dem durch C gehenden Kreiſe beträgt, iſt einleuchtend. Und ſo erhellt allgemein, daß bei einer immer gleich an einerlei Punkte des Hebels wirkenden Kraft die Umdrehungsgeſchwindigkeit nicht allein der Maſſe umgekehrt proportional iſt, ſondern auch dem Quadrate des Abſtandes vom Mittelpunkte umgekehrt proportional. Aus dieſem Grunde hat man den Ausdruck Moment der Trägheit eingeführt, worunter man das Product aus der Maſſe in das Quadrat der Entfernung vom Drehungspunkte verſteht, und die Winkelgeſchwindigkeit iſt ebenſo dieſem Momente der Trägheit umgekehrt proportional, wie, bei gradliniger Bewegung, die Geſchwindigkeit der Maſſe umgekehrt proportional iſt. Ein Beiſpiel wird dieß noch mehr erläutern. Es ſey (II. Fig. 32) AB ein Rad, deſſen ganze Maſſe in dem ſchweren Reifen ADBE gleichmäßig ausgetheilt iſt, ſo daß dieſer ſchwere Ring nur mit Stäben von unbedeutender Maſſe mit dem Mittelpunkte verbunden iſt. Auf die Axe FG ſey ein Seil aufgewickelt, von welchem ein Gewicht P von einem Pfunde herabhängt und jenes Rad in Bewegung zu ſetzen ſtrebt. Da das Rad für ſich allein im Gleichgewichte iſt, ſo wirkt jenes eine Pfund als Uebergewicht, und wir würden, wenn der ſchwere Ring ebenſo weit, als der Angriffspunkt dieſer Kraft, von dem Mittelpunkte entfernt wäre, für ein 99 Pfund ſchweres in dem Reifen ausgetheiltes Gewicht den Raum, durch welchen das Gewicht ſinkt oder um welchen dann jeder Punkt des Reifens fortrückte, = $^{15}/_{100}$ Fuß für die erſte Secunde ſetzen, genau ſo wie bei Atwood's Fallmaſchine. Hat aber der Reifen den fünffachen Durchmeſſer, ſo kann eben die Kraft dieſer fünfmal weiter entfernt vom Mittelpunkte wirkenden Maſſe nur ein Fünftel der Geſchwindigkeit mittheilen, und wenn $^{15}/_{100}$ Fuß dem Umfange der Axe gleich war, ſo ſind $^{15}/_{500}$ Fuß nur ein Fünf und Zwanzigſtel vom Umfange für den Reifen, welcher den fünffachen Halbmeſſer hat. Statt daß alſo eben die Maſſe, in einen dicht um die Axe gelegten Reifen vereinigt, in jeder Secunde einen Umlauf vollenden würde, macht ſie jetzt, fünfmal ſo weit entfernt vom Mittelpunkte, nur $^1/_{25}$ des Umlaufs in 1 Secunde. Obgleich es aber mehr Kraft fordert, ſolchen Rädern, bei denen das Moment der Trägheit groß iſt, die gewünſchte Geſchwindigkeit zu ertheilen, ſo behalten ſie dafür, eben der Trägheit wegen, länger die einmal erlangte Geſchwindigkeit bei, und dienen daher, um bei Maſchinen, die durch eine ungleichmäßig wirkende Kraft in Gang geſetzt werden, während der Augenblicke, wo die Triebkraft ſchwach oder gar nicht wirkt, die übrigen Theile der Maſchine mitzunehmen und im Gange zu

erhalten. Die eigens für dieſen Zweck manchen Maſchinen beigefügten Räder, die man Schwungräder nennt, müſſen daher eine ſehr große und vorzüglich am Umfange vertheilte Maſſe haben.

Aus der vorſtehenden Einleitung erhellt nun auch, welche Aenderung in der Schnelligkeit der Umdrehung eintreten muß, wenn eine mit dem Rade in Bewegung geſetzte Maſſe ſich plötzlich dem Mittelpunkte nähert oder ſich von ihm entfernt. So lange alle einzelne Theile der Maſſe ihre Lage gegen den Mittelpunkt behalten, dauert, ohne Einwirken neuer Kräfte, die Rotation nach dem Geſetze der Trägheit ungeändert fort; aber wenn plötzlich ein Theil der Maſſe weiter von der Axe weggerückt wird, ſo behält er nur die Geſchwindigkeit, die er vorhin hatte, die ihn jetzt durch einen kleinern Winkel fortführt, und obgleich dieſer Theil der Maſſe, verbunden mit der übrigen Maſſe, die Winkelgeſchwindigkeit nicht ſo ſehr vermindert, als es hiernach der Fall ſeyn ſollte, ſo wird ſie dennoch in einigem Grade herabgeſetzt, und deſto mehr, je größer der in die Ferne gerückte Theil der Maſſe in Vergleichung gegen die ganze bewegte Maſſe iſt. Und nun werde ich Ihnen mit wenigen Worten den Zuſammenhang zwiſchen der Wärme oder Temperatur der ganzen Erde und den aſtronomiſchen Beobachtungen erklären und Laplace's ſeltſam klingende Behauptung rechtfertigen können. Es iſt eine, in einem andern Abſchnitte der Phyſik genauer zu erklärende Erfahrung, daß die Körper ſich ausdehnen, wenn ihre Temperatur höher wird, und daß ſie ſich bei abnehmender Wärme in einen engern Raum zuſammen ziehen; alſo muß auch die Erde, wenn ihre Temperatur ſeit uralten Zeiten abgenommen hätte, jetzt einen etwas geringern Durchmeſſer, als in jenen frühern Zeiten haben. Aber bei einem ſo verkleinerten Halbmeſſer ſind alle Theile der Erdmaſſe der Erdaxe näher gerückt, und die Umdrehungsbewegung muß daher ſchneller geworden ſeyn, wenn im Laufe der Zeit irgend eine ſolche Aenderung ſtatt gefunden hat. Da nun die Zeit, in welcher die Erde eine tägliche Rotation vollendet, aus den alten Beobachtungen für jene Zeiten, aus den neuen Beobachtungen für unſre Zeit bekannt iſt, und dieſe Länge des Sterntages, dieſe Länge der einmaligen Umdrehungsperiode ſich jetzt völlig genau ſo findet, wie Hipparch ſie vor 2000 Jahren gefunden hat, ſo hat ſich das Volumen der Erde nicht geändert, die Maſſentheile ſind nicht der Axe näher gerückt, die Wärme der ganzen Erde hat ſich nicht oder höchſtens ganz unbedeutend geändert, da ſelbſt ein Grad Wärmeänderung, bei einer Erſcheinung, die immer gleichmäßig wiederkehrend die ſtattfindenden Differenzen in einem Jahr 365fach zeigt, ſchon mehr Einfluß haben würde, als die vorhandenen Beobachtungen anzunehmen erlauben.

Dieſe Betrachtung, welche zugleich zeigt, wie die am weiteſten von einander ſtehenden Erſcheinungen dennoch durch ein enges Band verbunden ſind, wie die eine zur Erklärung der andern dient, wie die eine unſre Kenntniß der andern berichtiget, ſcheint mir ſo wichtig, ſcheint mir ſo ſehr die Würde der Naturforſchung in einem ſchönen Glanze zu zeigen und den Scharfſinn des

Urhebers dieſer Betrachtung zu bezeugen, daß ich Bedenken trage, von ihr heute noch zu andern Gegenſtänden überzugehen, obgleich auch der Gegenſtand, von welchem ich das nächſte Mal zu reden gedenke, den Scharfſinn und die Genauigkeit der Beobachter und Künſtler auf eine andre Weiſe in einem ſehr vortheilhaften Lichte zeigt.

Neunte Vorleſung.

Bewegung des Pendels.

Die neulich betrachteten Phänomene ſchloſſen ſich ſo natürlich an einander, daß ich ſie nicht von einander trennen konnte und daher jetzt erſt zu einem weniger ſchwierigen und in ſeinen Anwendungen gleichwohl höchſt wichtigen Gegenſtande, zur Betrachtung des Pendels, übergehe.

Das Pendel beſteht aus einem ſchweren Körper, der, an einem Faden oder an einer dünnen Stange aufgehängt, durch die Schwerkraft zu einer lange dauernden oſcillirenden Bewegung angetrieben wird, ſobald man das Pendel einmal von der Lage, welche das Gleichgewicht fordert, entfernt hat. Bringt man nämlich das Pendel AB in die Lage AC (II. Fig. 33), ſo treibt die Schwere den Körper C, den wir, als die Hauptmaſſe enthaltend, vorzüglich ins Auge faſſen, herab, und nöthiget ihn, den Kreisbogen CB zu durchlaufen; dabei erlangt er eine, bei tieferem Falle immer ſchnellere Bewegung und kommt mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit im unterſten Punkte B an. Hier hört die Schwere auf, beſchleunigend auf ihn zu wirken, aber ſeine erlangte Geſchwindigkeit führt ihn, nach dem Geſetze der Trägheit, weiter fort, ſo daß er ſteigend den Bogen BD durchläuft. Es iſt leicht zu überſehen, daß die Schwerkraft hier den aufſteigenden Körper genau ebenſo ſeiner Geſchwindigkeit beraubt, wie ſie dem ſinkenden Körper, da er auf einem genau ähnlichen und gleichen Bogen herabſank, ſeine Geſchwindigkeit ertheilte. Der ſchwere Körper wird daher in d eben die Geſchwindigkeit, wie in dem gleich hoch liegenden Punkte c haben, und in D ſeine Geſchwindigkeit ganz verloren haben, wenn er in C ohne alle anfängliche Geſchwindigkeit ſeine Bewegung anfing. Daß der ſo bis D geſtiegene Körper nun wieder zu ſinken anfängt, daß er eine gleiche Schwingung bis nach C zurück vollenden und ſo eine Reihe von Schwingungen machen wird, läßt ſich leicht überſehen. Ließe ſich die Aufhängung des Pendels ſo einrichten, daß es gar keine Reibung litte, wäre nicht der Widerſtand der Luft, und überhaupt kein Hinderniß der Bewegung vorhanden ſo müßte dieſe Bewegung des Pendels ohne Ende fortdauern, und wirklich dauert die Bewegung eines Pendels, an deſſen Aufhängepunkte alle Reibung und andre Hinderniſſe ſorgfältig vermieden worden ſind, durch mehrere tauſend Schwingungen, wenn ſie gleich endlich, wegen des nie ganz fehlenden Widerſtandes, aufhört.

Die Geſetze dieſer Bewegung ſind ſo einfach, daß es Ihnen nicht ſchwer werden wird, ſie genau zu überſehen. Was zuerſt die Frage betrifft, welche Geſchwindigkeit das Pendel erlangt, ſo iſt dieſe wenigſtens in dem Falle leicht zu beantworten, wenn die ſchwere Materie des Pendels faſt ganz in der Gegend B, beinahe in einem Punkte vereiniget iſt. Dieſer Punkt durchläuft den Bogen CB, und indem er ſo vom Anfange ſeines Falles die Tiefe EB erreicht, erlangt er auch die dieſer Falltiefe entſprechende Geſchwindigkeit. Der Grund dieſer Uebereinſtimmung läßt ſich an dem einfacheren Falle, wo eine Kugel auf einer ſchiefen Ebne herabläuft, noch beſſer nachweiſen. Hier ſey zum Beiſpiel (II. Fig. 34) die Höhe AB der Ebne ein Drittel ihrer Länge BC, ſo hat uns die Zerlegung der Kräfte in der Statik gezeigt, daß die herabwärts, nach der Richtung der Ebene wirkende Kraft nur ein Drittel des ganzen Gewichtes iſt, und daraus erhellt, daß die auf BC fortrollende Kugel nur 5 Fuß in der erſten Secunde durchlaufen und die Geſchwindigkeit von 10 Fuß (ein Drittel deſſen, was der frei wirkenden Schwere entſpricht) erlangen kann. Indem ſie von B an um 5 Fuß bis D fortgerückt iſt, hat ſie die Tiefe BE = $^5/_3$ Fuß erreicht, und da dieß ein Neuntel der Tiefe iſt, welche ſie bei freiem Falle erreichen würde, ſo wäre der frei fallende Körper in $^1/_3$ Secunde von B nach E gekommen und hätte in E die Geſchwindigkeit = 10 Fuß, genau eben die, welche der auf der ſchiefen Ebne herabrollende Körper in einer ganzen Secunde in D erlangt hat. Ginge der Körper mit dieſer Geſchwindigkeit von 10 Fuß auf eine neue ſchiefe Ebne über, bei welcher die Höhe DF nur ein Fünftel der Länge DG wäre, ſo würde er, weil die ihn beſchleunigende Kraft nur ein Fünftel der Schwerkraft iſt, am Ende der nächſten Secunde nur 6 Fuß neue Geſchwindigkeit erlangt und mit 10 Fuß Anfangsgeſchwindigkeit und 16 Fuß Endgeſchwindigkeit 13 Fuß in dieſer Secunde durchlaufen haben; dieſen 13 Fuß = DH entſpricht die Tiefe $^{13}/_5$ Fuß = EI, oder die ganze Tiefe BI = $^5/_3 + {}^{13}/_5$ Fuß = $^{64}/_{15}$ Fuß, und dieß iſt die Tiefe, welche ein freifallender Körper in $^8/_{15}$ Secunden erreicht und an deren Ende er 16 Fuß Geſchwindigkeit, das iſt $^8/_{15}$ derjenigen Geſchwindigkeit erlangt hat, die er in 1 Secunde erlangt hätte, alſo eben die Geſchwindigkeit, mit welcher die Kugel in H ankömmt.[1]

Dieſes Geſetz iſt bei der durch beſchleunigende Kräfte bewirkten Fortbewegung auf krummen Linien ganz allgemein; beim Uebergange von einer Ebne auf eine andre würde einiger Verluſt an Geſchwindigkeit beim Antreffen an die, plötzlich eine andre Richtung der Bewegung fordernde Ebne ſtattfinden, der aber bei dem ſanften Uebergange zu neuen Richtungen auf einer krummen Linie wegfällt.

Bei der Bewegung der Pendel findet ferner das merkwürdige Geſetz ſtatt, daß faſt ganz genau die Schwingungszeiten gleich ſind, man mag das Pendel

[1] In $^1/_{15}$ Secunde fällt der Körper durch $^1/_{225}$ des Fallraums, der einer ganzen Secunde zugehört, in $^2/_{15}$ Secunde durch $^4/_{225}$, in $^8/_{15}$ Secunde durch $^{64}/_{225}$ eben des Raumes, aber $^{64}/_{225} \cdot 15 = {}^{64}/_{15}$ Fuß iſt eben jener Tiefe gleich.

große oder kleine Bogen durchlaufen laſſen. Dieß hängt davon ab, daß das nur wenig aus ſeiner Gleichgewichtsſtellung gebrachte Pendel A d (II. Fig. 33) mit einer höchſt geringen Kraft zu ſeiner tiefen Stellung zurückſtrebt und daher den freilich kleinen Bogen d B ſehr langſam durchläuft; iſt es dagegen weit, wie AD, von ſeiner Ruhelage entfernt, ſo erlangt es, vermöge der ſtarken Neigung ſeiner Bahn, ſchon ſogleich eine bedeutende Geſchwindigkeit und wird durch den großen Bogen D B in eben der Zeit, wie vorhin durch den kleinen Bogen d B fortgeführt. Auf dem Kreiſe iſt dieſe Gleichheit der Schwingungszeiten nicht ganz genau richtig; aber obgleich die Schwingungszeit bei größeren Bogen ein wenig länger iſt, ſo beträgt dieß doch ſelbſt bei Bogen von 20 Graden noch kaum ein Hundertel der Schwingungszeit. Indeß verſteht es ſich, daß man bei der Genauigkeit, die wir von unſern Uhren fordern, und wegen der ſich unaufhörlich ſummirenden Zeitunterſchiede bei vielen Pendelſchlägen, ſelbſt ſo kleine Abweichungen nicht unbeachtet laſſen darf.

Kürzere Pendel vollenden ihre Schwingungen ſchneller als längere. Wir wollen uns (II. Fig. 35) zwei Pendel AB, ab, jenes viermal ſo lang als dieſes denken, beide mögen um den Winkel BAD = bad gehoben ſeyn, ſo iſt die Einwirkung der Schwere auf beide in Rückſicht auf die Richtung der Bewegung, welche beide, gleich geneigt gegen die Verticallinie, annehmen können, gleich, und bei den nach und nach erlangten Stellungen in der Mitte oder auf dem Viertel der Wege DB, db ſind die Einwirkungen der Schwere immer wieder gleich; aber es iſt der Weg BD viermal ſo groß als bd, und bei gleicher Einwirkung der Schwere wird der vierfache Weg in der zweifachen Zeit durchlaufen, alſo iſt, da dieſe Vervierfachung des Raumes und daher die Verdoppelung der Zeit während der ganzen Bewegung ſtatt findet, ab ein Pendel für halbe Secunden, wenn AB ein Pendel für ganze Secunden iſt. Die Schwingungszeiten ſind allgemein den Quadratwurzeln aus den Längen proportional, das heißt, man muß des Secundenpendels Länge viermal, neunmal, ſechzehnmal nehmen, um Pendel zu erhalten, deren Schwingungszeit 2, 3, 4 Secunden beträgt. Galiläi wurde durch die langſamen Schwingungen der Kronleuchter in den hohen Kirchengewölben zu Betrachtungen hierüber geleitet, und beſtimmte die Höhe dieſer Gewölbe, die Länge dieſer Pendel, aus ihren Schwingungszeiten. — Da ein 3 Fuß langes Pendel ungefähr in 1 Secunde eine Schwingung vollendet, ſo braucht ein 48 Fuß langes Pendel 4 Secunden.

Ein andre Frage, deren Beantwortung von großer Wichtigkeit iſt, betrifft die ungleiche Schwingungszeit zweier gleich langer, aber einer ungleichen Schwerkraft unterworfener Pendel. Wenn wir uns in eine Gegend verſetzen könnten, wo die Schwere viermal ſo mächtig wirkte, ſo würde der frei fallende Körper 60 Fuß in der erſten Secunde durchlaufen, ſtatt daß wir ihn nur 15 Fuß durchlaufen ſehen, das heißt, die vierfach ſo ſtarke Schwerkraft triebe den fallenden Körper durch denjenigen Raum in 1 Secunde, durch welchen er in 2 Secunden vermöge der einfachen Schwerkraft fällt. Und da auf einer

geneigten Ebne dieſelbe Ueberlegung gültig bliebe, ſo bleibt ſie auch bei den gleichen Kreisbogen gültig, die von gleichen Pendeln beſchrieben werden, und unſer Secundenpendel würde in einer halben Secunde eine Schwingung vollenden, wenn es einer vierfachen Schwerkraft ausgeſetzt wäre, in ⅓ Secunde bei neunfacher Schwerkraft u. ſ. f.

Genaue Beſtimmung des Fallraums in 1 Secunde und der Figur der Erde.

Die Kenntniß der genauen Länge des Secundenpendels iſt ein Gegenſtand von ſo großer Wichtigkeit für den Phyſiker und Aſtronomen, daß man auf die Beſtimmung derſelben den ſorgfältigſten Fleiß gewandt hat. Wir lernen den genauen Fallraum eines frei fallenden Körpers erſt durch die Länge des Secundenpendels kennen, indem ſich durch Schlüſſe, die hier zu ſchwierig ſeyn würden, zeigen läßt, daß man die Länge des Secundenpendels mit 4,9348 multipliciren muß, um den Fallraum in einer Secunde zu haben.[1] Wenn alſo nach Beſſel's Beſtimmung die Länge des Secundenpendels in Königsberg an der Oberfläche der Oſtſee = 440,8179 pariſer Linien iſt, ſo erhält man den Fallraum in 1 Secunde ebendort = 2175,349 Linien = 181,279 Zoll = 15,1066 Fuß.[2] Dieſe Werthe bleiben nicht auf der ganzen Erde gleich, indem an der Meeresfläche unter dem Aequator die Pendellänge = 439,318 Linien, der Fallraum in 1 Secunde = 15,055 pariſer Fuß iſt. In dieſer Ungleichheit liegt der Grund, weswegen die Pendellänge für den Geographen und Aſtronomen wichtig iſt, indem ſie uns dient, die Figur der Erde kennen zu lernen.

Die Schwerkraft würde an allen Punkten der Erdoberfläche gleich ſeyn, wenn die Erde eine genaue Kugel, von überall gleicher Materie, und ohne Bewegung wäre. Schon wegen der höhern oder tiefern Lage der einzelnen Punkte findet eine Ungleichheit ſtatt, die freilich klein iſt, aber doch in ſo genauen Verſuchen, wie die nachher zu erwähnenden, ſelbſt bei kleinen Höhen merklich werden würde. Beſſel beſtimmt die Länge des Secundenpendels auf der Königsberger Sternwarte als 0,0032 pariſer Linie kürzer als es an der 67 Fuß niedrigern Oberfläche der Oſtſee ſeyn würde, und bei höhern Bergen, wo freilich nicht bloß die Abnahme der Schwerkraft wegen weiterer Entfernung vom Mittelpunkte der Erde, ſondern auch ihre Zunahme durch die Anziehungskraft des Berges, auf welchem man ſich befindet, in Betrachtung kommt, wird dieſer Unterſchied noch viel erheblicher. Es läßt ſich zugleich überſehen, wie er dienen kann, die Anziehungskraft des Berges zu finden, und worauf die Behauptung beruht, daß man, um aus beobachteten Pendellängen genaue Schlüſſe zu ziehen, billig auf die geologiſche Beſchaffenheit der Gegenden, wo ſie angeſtellt worden ſind, Rückſicht nehmen ſollte.

[1] 4,9348 iſt $= \frac{1}{2} \cdot \pi^2 = \frac{(3,14159)^2}{2}$.

[2] In preußiſchem Maaße iſt die Pendellänge zu Königsberg 3,16839 Fuß, der Fallraum 15,6354; dieſelben Größen ſind am Aequator 3,15761 und 15,582.

Der wichtigſte Unterſchied, den wir in der Pendellänge finden, iſt indeß der aus der Umdrehung der Erde um ihre Axe entſtehende. Ich habe ſchon bei einer andern Gelegenheit bemerkt, daß durch die bei der Umdrehung entſtehende Schwungkraft das Waſſer der Meere gegen den Aequator hin gedrängt wird und daß deswegen die Erde bei ihrer anfänglich gewiß geringeren Conſiſtenz eine von der Kugelform abweichende Geſtalt erhalten hat; hierin liegt ein doppelter Grund, um die Schwerkraft am Aequator zu vermindern. Nehmen wir nämlich an, unſer Standpunkt bei allen anzuſtellenden Verſuchen ſey an der Oberfläche des Meeres, ſo ſind wir doch (II. Fig. 36) in A, am Aequator der Erde weiter, als in B, vom Mittelpunkte C der Erde entfernt, und ſchon deshalb würde die Wirkung der Schwere in A ſchwächer, als in B, ſeyn. Aber hiezu kommt noch die am Aequator größere Schwungkraft, die nämlich mit dem Abſtande von der Axe D E zunimmt und am Aequator der Richtung der Schwere grade entgegen wirkt. Beide Urſachen vereinigt bringen die Wirkung hervor, daß der Fallraum in unſern mittlern geographiſchen Breiten ungefähr um $^1/_{300}$ größer als am Aequator iſt. Dieſer Unterſchied ließe ſich genau berechnen, wenn wir die Figur der Erde, das iſt, der Oberfläche aller Meere, ganz genau kennten; ergibt die Beobachtung ſie alſo anders als wir bei Vorausſetzung einer gewiſſen Geſtalt der Erde erwarteten, ſo dient uns dieß zur Berichtigung unſrer über die Figur der Erde gemachten Vorausſetzungen. Dieſe Methode, die Figur der Erde zu beſtimmen, geſtattet eine große Genauigkeit, da wir wohl dahin kommen können, die Länge des Secundenpendels an vielen Orten bis auf kleinere Theile als ein Hunderttel einer Linie, alſo die Kraft der Schwere ſo genau zu beſtimmen, daß unſre Angaben um weniger als $^1/_{44000}$ von der Wahrheit abweichen.

Verſuche über die Länge des Secundenpendels.

Aber wie gelangen wir zu dieſer Genauigkeit? — Das iſt eine Frage, deren Beantwortung um ſo mehr hieher gehört, da die Beſtimmung der Pendellänge eines der ſchönſten Beiſpiele von der großen Genauigkeit giebt, welche die Künſtler unſrer Zeit in ihren Inſtrumenten und die Beobachter in ihren Beſtimmungen zu erreichen wiſſen. Die Beantwortung der Frage fordert zweierlei: erſtlich daß wir die Mittel angeben, die ſehr ſtreng beſtimmte Schwingungszeit eines Pendels zu beobachten, zweitens, daß wir die Länge dieſes Pendels mit großer Schärfe abmeſſen. Das Letztere iſt am ſchwierigſten und ich will daher damit anfangen. Eigentlich ſollten wir ein Pendel haben, welches nur einen einzigen ſchweren Punkt in B (II. Fig. 35) hätte; dann würde die Abmeſſung vom Aufhängepunkte A bis zu dieſem Punkte B uns die Länge des Pendels geben; aber ſolche Pendel beſitzen wir nicht, und wenn zum Beiſpiel das Pendel aus einer dünnen Stange und einer unten daran befeſtigten Kugel beſteht, ſo iſt nicht der Mittelpunkt der Kugel, ſondern ein andrer Punkt derjenige, bis zu welchem hin gemeſſen werden muß. Dieſen Punkt, welchen man den Mittelpunkt des Schwunges nennt, in welchem nämlich jener einzige ſchwere

Punkt ſich befinden müßte, um ein in ebenſo langen Zeiten ſchwingendes Pendel darzubieten, läßt ſich nun freilich berechnen; aber dieſe Berechnung beruht auf einer vollkommen genauen Kenntniß aller einzelnen Theile des Pendels, und es würde immer ſchwer ſeyn, die Lage deſſelben bis auf $^1/_{100}$ Linie zu verbürgen.

Wegen dieſer nicht ſtrengen Beſtimmung verdiente Bohnenberger's Pendel, welches Beſſel das Pendel mit reciproken Axen nennt und das von andern das convertible, d. i. umwendbare Pendel genannt worden iſt, einen Vorzug, indem es den Schwingungsmittelpunkt an einer genau beſtimmten Stelle, zur Abmeſſung bequem, darbietet. Es iſt nämlich ein leicht aufzufaſſender Satz, daß, wenn ein Stab am obern Ende aufgehängt Secunden ſchlägt, es auch irgendwo gegen das untere Ende hin einen Punkt geben wird, in welchem er, umgekehrt aufgehängt, wieder Secunden ſchlägt, und daß der Abſtand dieſer Punkte von einander der Abſtand des Schwingungsmittelpunktes von der Axe, oder der ſo beſtimmte Punkt der Schwingungsmittelpunkt iſt, der zu jener Axe gehört. Bringt man alſo an einem Stabe A B (II. Fig. 37) eine als Schneide zugeſchärfte, zum Auflegen auf eine wohlpolirte Unterlage geeignete Axe C D an, und befeſtigt eine zweite Axe E F, deren Schärfe nach oben gekehrt iſt, vermittelſt einer Schraube, ſo wird man nach einigen Verſuchen den Abſtand der beiden Schneiden C D, E F ſo einrichten können, daß die Schwingungszeiten des Pendels gleich ſind, man mag es in der Stellung, welche die Figur zeigt, oder in umgekehrter Stellung, mit E F aufliegend, ſchwingen laſſen. Die Schwierigkeit, die es haben mag, dieß genau auszuführen, will ich hier nicht weiter berückſichtigen, ſondern nur kurz ſagen, daß, wenn dieſe Anordnung vollkommen ausgeführt iſt, die Schneide der einen Axe genau in dem der andern Axe zugehörigen Schwingungspunkte liegt und der Abſtand beider Axen von einander das iſt, was wir Länge des Pendels nennen. Die Abmeſſung dieſer Länge ließe ſich ſehr genau erhalten; aber bei einer Beſtimmung, die bis auf ein Tauſendtel einer Linie genau ſeyn ſoll, muß man ſehr feine Umſtände mit berückſichtigen, und hier ſind es beſonders zwei Umſtände, die zu Fehlern, und zwar zu ſolchen Fehlern, denen ſelbſt die Sorgfalt des Beobachters nicht ganz abhelfen kann, führen können. Der erſte Fehler beruht auf der Unvollkommenheit der Schneide, auf welcher das Pendel aufliegt. Hätten wir es mit einer dicken, cylindriſchen Axe auf die Unterlage gelegt, ſo würde offenbar die Länge des Pendels nicht ſo gradezu von dem Punkte, mit welchem die Axe die Unterlage berührt, an zu rechnen ſeyn, ſondern man müßte auf das Wälzen dieſes Cylinders Rückſicht nehmen, und etwas Aehnliches, wenn gleich in viel geringerm Maaße, findet ſelbſt bei der feinſten Schneide ſtatt, die doch immer noch mit andern Berührungspunkten aufliegt, wenn das Pendel rechts ausweicht, mit andern, wenn es links ausweicht. So wenig dieß auch bei einer Schneide, deren Breite nur einige Tauſendtel einer Linie beträgt, ausmacht, ſo iſt es doch gegen die Feinheit der Verſuche, die ſich hier erreichen läßt, nicht ganz unbedeutend. Noch wichtiger iſt der Widerſtand der Luft.

Jene Regel, daß der Abſtand der beiden Axen die wahre Länge des Pendels angiebt, wenn beide eine genau gleiche Schwingungszeit geben, gilt nur im leeren Raume mit völliger Schärfe, und fordert wegen des Widerſtandes der Luft eine ſchwer zu beſtimmende Correction. Ein Pendel, das im leeren Raume in beiden Lagen gleiche Schwingungszeiten hat, behält nicht nothwendig dieſe Eigenſchaft in der Luft.

Dieſe, auch hier übrig bleibende Unvollkommenheit hat Beſſel zu einer anders eingerichteten Reihe von Verſuchen veranlaßt, die ſich auf die Betrachtung ſtützen, daß es nicht nothwendig iſt, die genaue Länge eines Pendels zu kennen, ſondern daß die genaue Kenntniß des Unterſchiedes der Längen zweier Pendel, deren Schwingungszeiten man beobachtet, ebenſo gut zur Beſtimmung der Länge des einfachen Secundenpendels führt. Beſſel bediente ſich deshalb zweier Pendel, deren Länge genau um eine Toiſe verſchieden war, und beſtimmte ihre Schwingungszeit mit möglichſter Sorgfalt.

Ich würde beſorgen, zu lange bei dieſem Gegenſtande zu verweilen, wenn ich nicht ſicher hoffen dürfte, daß ein Beiſpiel von der großen Genauigkeit, welche Verſuche dieſer Art geſtatten, jedem von Ihnen merkwürdig genug ſcheinen werde, um gern dabei etwas länger zu verweilen. Da ich das Mittel, die ſehr genaue Schwingungszeit zu finden, noch nicht erwähnt habe, ſo mag davon jetzt zuerſt die Rede ſeyn. Und hier klingt es freilich im erſten Augenblicke unglaublich, wenn man ſagt, daß bei Beſſel's Verſuchen jede einzelne Beobachtungsreihe die Schwingungszeit ſeines Pendels ſelten um ein ganzes Hunderttauſendtel einer Secunde unſicher ließ. Aber dieſes Unglaubliche wird ſchon etwas näher in die Grenze des uns Begreiflichen gebracht, wenn wir überlegen, daß ſein Pendel 4000 bis 6000 einzelne Schwingungen ungeſtört hinter einander vollendete, daß alſo der Zeitraum zwiſchen der erſten und letzten Schwingung, bis auf 1 Secunde genau beobachtet, die Zeit jeder einzelnen Schwingung ſchon bis auf $\frac{1}{4000}$ oder $\frac{1}{5000}$ Secunde genau geben würde, und daß dieſe Genauigkeit noch in hohem Grade zunahm, weil ſich in dieſer langen Reihe von Schwingungen eine Menge einzelner Beſtimmungen, für die erſten 500, für die zweiten 500 und ſo ferner darboten. Aber auch in der Art, wie die Beobachtung angeſtellt ward, lag das Mittel zur Erreichung einer ſo großen Genauigkeit. Die Methode der Beobachtung der Coincidenzen beſteht bei den Pendeln darin, daß man zwei Pendel, die keinen genau gleichen Zeitraum zu ihren Schwingungen brauchen, beim Zuſammentreffen ihrer Schläge beobachtet, und hiezu machte Beſſel folgende Einrichtung. Es ward eine genau gehende Uhr vor dem zu beobachtenden Hauptpendel aufgeſtellt, jedoch entfernt genug, damit nicht etwa die Schläge der Uhr auf jenes Pendel ſtörend einwirken könnten. An dem Pendel der Uhr befand ſich ein kleines Loch, durch welches man bei der tiefſten Lage des Pendels auf die weiß gelaſſene Mitte der Scale ſah, die ſich hinter dem zu beobachtenden Hauptpendel befand; aber dieſes Weiß wurde, wenn das zu beobachtende Pendel entweder ruhte oder auch bei der Bewegung ſeinen tiefſten Punkt erreichte,

von einem an demſelben befeſtigten ſchwarzen Cylinder bedeckt, und wenn beide Pendel in Schwingung waren, ſo ſah das durch ein Fernrohr auf jenes Weiß gerichtete Auge beim Eintreffen des Uhrpendels im tiefſten Punkte durch das Loch deſſelben in den meiſten Fällen jenes Weiß, und nur dann, wenn beide Pendel zugleich ihre tiefſte Stellung erreichten, war das Weiß durch den ſchwarzen Cylinder des Hauptpendels verdeckt und dadurch waren die Coincidenzen merklich gemacht. Dieſe Coincidenzen erfolgen nicht ganz genau in immer gleichen Zwiſchenräumen, ſondern da das frei hängende Pendel anfangs etwas größere, allmählig immer kleinere Bogen durchläuft, ſo werden die Schwingungszeiten nach und nach etwas, freilich ſehr wenig, kürzer. — Doch ich habe wohl genug geſagt, um zu zeigen, daß die Zeit der Schwingungen des Pendels auf dieſe Weiſe ſehr vollkommen beſtimmt war, und dennoch habe ich mehrere ſorgfältige Vorrichtungen, um dieſen Zweck vollkommen zu erreichen, noch mit Stillſchweigen übergangen. Bei der Abmeſſung der Länge kam es nun vorzüglich auf die größte Genauigkeit in Beſtimmung des Längen-Unterſchiedes beider Pendel an. Es ward dazu eine von Fortin in Paris verfertigte Toiſe angewandt, die mit dem Normalmaaße der Toise de Perou genau verglichen und nur um $^{8}/_{10000}$ einer Linie zu kurz befunden war. Da ich nachher Gelegenheit haben werde zu ſagen, wie man ſich von einer ſo genauen Uebereinſtimmung überzeugen kann, ſo will ich jetzt bei der Einrichtung des Comparateurs, mit welchem dieſe Maaßvergleichungen angeſtellt werden, nicht verweilen. Dieſe Toiſe wurde, in ihrer Mitte von einer Hülſe getragen, vertical aufgehängt, und ſtützte ſich auf einen genau horizontal abgeſchliffenen Cylinder, den ich die Unterlage nennen will. Indem nun die zum Aufhängen des Pendels dienende Vorrichtung ſich ganz genau ebenſo bei den Schwingungen des längern Pendels an die obere Fläche der Toiſe, wie bei den Schwingungen des kürzern Pendels an die obere Fläche der Unterlage andrückte, ſo waren die Höhen der Aufhängepunkte ganz genau um eine Toiſe verſchieden, jedoch mußten die geringen Unterſchiede, welche die Ausdehnung der Toiſe durch die Wärme hervorbringt, in Rechnung gezogen werden. Die Lage des untern Endpunktes ward durch ein Micrometer, das ich ſogleich beſchreiben werde, berichtigt. Da das Pendel aus einem Stahlfaden beſteht, an welchem eine Meſſingkugel hängt, ſo iſt es der unterſte Punkt der Kugel, deſſen Lage eine genau ſo große Höhe im einen und im andern Falle haben muß, wenn das längere Pendel um eine genaue Toiſe länger als das kürzere ſeyn ſoll. Die Höhe dieſes Endpunktes wird mit einer Micrometerſchraube abgemeſſen, deren ganze Schraubengänge eine Weite von 0,0902 Linie haben und an der noch die Hunderttel einer Drehung, denen alſo eine Fortrückung der Schraube von 0,0009 Linie entſpricht, abgeleſen werden. Um aber eine noch größere Genauigkeit zu erreichen, berührt der durch die Drehung der Micrometerſchraube gehobene oder geſenkte Cylinder nicht ſelbſt unmittelbar die Kugel, ſondern ein 60mal vergrößernder Fühlhebel drückt ſich an ſie an und macht ſelbſt die feinſten Aenderungen wahrnehmbar. Dieſer Fühlhebel, den Sie ſich am leichteſten ſo vorſtellen, daß am kurzen

Arme eine polirte Stahlplatte ſich an die Kugel andrückt, während der 60mal längere Arm als Zeiger an einer Scale beobachtet wird, kann offenbar dienen, um $1/_{60000}$ Linie noch wahrnehmbar zu machen, wenn ein Microſcop, wodurch $1/_{1000}$ Linie kenntlich wird, auf das der Scale gegen überſtehende Zeichen des Zeigers gerichtet wird, — und wenn auch niemand für ein einziges Sechzigtauſendtel wird bürgen wollen, ſo erhellt doch nun deutlich, wie von Zehntauſendteln einer Linie gar wohl die Rede ſeyn darf, wenn ſolche Inſtrumente, wie dieſer von dem ausgezeichneten Repſold verfertigte Apparat, dem Beobachter zu Gebote ſtehen.

Da es hier nicht meine Abſicht iſt, Sie mit den großen Vorzügen der Beſſel'ſchen Beobachtungen und Berechnungen vollkommen bekannt zu machen, ſondern nur Ihnen den möglichen Grad von Genauigkeit anzugeben, der ſich erreichen läßt, ſo übergehe ich alle die Vorſichten, die ſonſt noch bei jedem einzelnen Umſtande der Beobachtungen angewandt wurden, und die feinen Berichtigungen, welche die Rechnung darbot, und begnüge mich, das Hauptreſultat, daß man die Pendellänge als gewiß auf ein Tauſendtel einer Linie für Königsberg ſicher beſtimmt anſehen kann, anzuführen.[1]

Meſſungen der Länge des Secundenpendels ſind zwar nirgends mit ſolchen Mitteln angeſtellt worden als in Königsberg; jedoch reichen die ſehr genauen Beobachtungen, die von Kater, Sabine, Lütke, Schumacher und Andern in den verſchiedenſten Gegenden gemacht worden ſind, ſchon hin, um über die Geſtalt der Erde im Allgemeinen Aufſchluß zu geben. Das wahrſcheinlichſte Reſultat aus allen iſt, daß die Abplattung oder der Unterſchied zwiſchen dem größten und kleinſten Erddurchmeſſer $1/_{290}$ des größten Durchmeſſers beträgt. Aus den beſten Meſſungen von Meridianbogen leitet Beſſel dagegen das Reſultat ab, daß die Abplattung $1/_{301}$ iſt.

Andre oscillirende Bewegungen.

Ich gehe jetzt zu einigen andern, mit der Lehre vom Pendel in Verbindung ſtehenden Betrachtungen über. Zuerſt mag eine kurze Erwähnung anderer Fälle, wo eine Bewegung, der Pendelbewegung ähnlich, eintritt, hier Platz finden. Bei der Bewegung des Pendels iſt zuerſt die Schwere thätig, um den vom Zuſtande des Gleichgewichts entfernten Körper zu dieſem Zuſtande zurück zu führen, aber wenn ſie das Pendel in die dem Gleichgewichte angemeſſene Lage gebracht hat, ſo führt die erlangte Geſchwindigkeit es über den Zuſtand des Gleichgewichts hinaus, und ſo entſteht die wechſelnde Bewegung. Ein ähnliches Hinausgehen über den Zuſtand des Gleichgewichtes und eben deswegen eine oftmals wiederholte hin und her gehende Bewegung beobachten wir auch in vielen andern Fällen. Die elaſtiſche Feder, die wir in eine gezwungene Lage drücken und dann frei laſſen, kehrt nicht bloß in den Zuſtand des Gleichgewichtes zurück, ſondern geht ebenſo weit über denſelben hinaus nach der

[1] Beſſel's Unterſuchungen über die Länge des einfachen Secundenpendels. Berlin 1828.

andern Seite, als wir ſie zu Anfang von demſelben entfernt hatten, und würde ihre Vibrationen ohne Aufhören fortſetzen, wenn nicht die Steifheit des Körpers dieſelben bald verminderte. Wenn wir ein herabhängendes Seil drehen, ſo gelangt es frei gelaſſen nicht bloß in ſeinen natürlichen Zuſtand, ſondern macht eine Drehung darüber hinaus, die ein neues Rückwärtsdrehen zur Folge hat. Ebenſo verhält es ſich beim Vibriren der Saiten, bei der Fortpflanzung des Schalles, beim Schwanken des Waſſers in Röhren, bei der Bewegung der Wellen u. ſ. w.

Eigenſchaften der Cycloide.

Eine zweite Bemerkung betrifft die Linie, auf welcher ein Körper fortgehen müßte, um große und kleine Bogen in gleichen Zeiten zu durchlaufen. Wenn wir ein Pendel beobachten, ſo finden wir keinen merklichen Unterſchied in der Zeit der Pendelſchläge, die durchlaufenen Bogen mögen groß oder klein ſeyn; indeß zeigt die Rechnung, und ſelbſt eine mit hinreichender Sorgfalt angeſtellte Beobachtung läßt es wahrnehmen, daß größere Bogen etwas längere Zeit fordern. Die Cycloide dagegen hat die Eigenſchaft, daß Körper, die (III. Fig. 1) in A, in B, in C aufgelegt werden, alle zugleich im unterſten Punkte D ankommen; ſie erlangen nämlich bei der ſtarken Neigung in A ſogleich eine große Geſchwindigkeit und holen daher die mit geringerer Geſchwindigkeit einen kurzen Weg durchlaufenden Körper ein. Dieſe Cycloide iſt eine merkwürdige, auch ſonſt in der Phyſik öfter vorkommende Linie. Sie zeigt ſich uns am deutlichſten, wenn wir den Weg verfolgen, den ein Nagel an einem auf gradem Wege ſich fortwälzenden Rade durchläuft. Ich zeichne hier dieſes Fortwälzen ſo, als ob das Rad A H ſich an der untern Seite der graden Linie A E fortwälzte, um die Cycloide ſogleich in der für unſre Betrachtung nöthigen Stellung zu erhalten, ſtatt daß wir ſie bei der Wälzung des Rades gewöhnlich mit der Wölbung nach oben entſtehen ſehen. Indem das Rad A H, deſſen Mittelpunkt zuerſt in G iſt, ſich von A nach I fortwälzt, gelangt der Nagel A, oder der die Cycloide beſchreibende Punkt, nach B, und der Bogen I B iſt ſo groß, als A I; iſt das Rad nach K M gekommen, ſo iſt der beſchreibende Punkt in M, wenn man K M = A K nimmt, und ſo kann man die ganze Cycloide ABCDE zeichnen, die ſich in immer gleichen Wiederholungen jenſeits E bei weiterem Fortgange der Wälzung wieder darſtellt.

Die Cycloide iſt nicht bloß durch dieſe Gleichzeitigkeit des Falls, durch die Eigenſchaft eine tautochroniſche Curve zu ſeyn, merkwürdig, ſondern ſie iſt auch die Linie des ſchnellſten Falls, die Brachyſtochrone. Sind die beiden Punkte A, M gegeben und man verlangt, daß der von A ausgehende fallende Körper in der kürzeſten Zeit nach M gelange, ſo muß man ihn nicht auf einer durch A M gehenden geneigten Ebne laufen laſſen, ſondern auf dem längern, nach der Cycloide A B M gekrümmten Wege gelangt er ſchneller, und auf keiner andern Linie gleich ſchnell, von A nach M.

Anwendung der Pendel.

Ich komme endlich zu den Anwendungen des Pendels und der Federn, welche pendelartige Bewegungen bewirken. Bekanntlich dienen ſie zur Regulirung unſrer Uhren, deren Bewegung durch eine ſtetig wirkende Kraft hervorgebracht, aber erſt durch den Pendelſchlag regelmäßig wird. Das Gewicht an den größern Uhren und die beim Aufziehen zuſammengezogne Feder an den Taſchenuhren würde das Räderwerk bald in ſchnelle Bewegung ſetzen und zugleich ein baldiges Ablaufen der ganzen Kette bewirken, wenn nicht die Wirkung dieſer Kraft unterbrochen würde. Dieſe Unterbrechung, ſo weit ſie hier erwähnt zu werden braucht, wird durch die am obern Ende des Pendels angebrachten, in das Steigrad eingreifenden Hemmungen zu Stande gebracht, die, während das Pendel ſchwingt, nur einen Zahn vorbeigehen laſſen, dann aber das fernere Fortrücken des Rades und damit das Herabſinken des Gewichts auf einen Augenblick aufhalten, alſo nie eine beſchleunigte Bewegung geſtatten. Die Spiralfeder an den Taſchenuhren bewirkt eben dieſe Hemmung.

Das Pendel iſt in neuern Zeiten oft als Taktzähler empfohlen worden, und man hat ihm dazu die in der Figur (III. Fig. 2) gezeichnete Einrichtung gegeben. Der Stab B C iſt unten mit dem Gewichte A beſchwert, und ein kleines Gewicht D iſt an ihm verſchiebbar. Die Schwingungen, die dieſes Pendel um die Axe E vollendet, werden von längerer Dauer, wenn das Gewicht D nach C fortgerückt wird. Die auf dem Stäbchen aufgetragenen Abtheilungen zeigen durch die beigeſetzten Zahlen die Verhältniſſe der Schwingungszeiten, die den verſchiedenen Lagen des Gewichtes D entſprechen, an, und es ſtehen daher näher bei E die größern Zahlen, weil mehrere dieſer ſchnellen Schwingungen auf eine Minute gehen. Der Grund, warum die Schwingungen langſamer ſind, wenn das Gewicht nach C zu rückt, iſt, daß der immer unterhalb E bleibende Schwerpunkt der Axe näher kommt, wenn das Gewicht gegen C zu geht; dadurch wird das Moment der bewegenden Kraft geringer, und die Gegenwirkung der Maſſe D wird dagegen ſtärker, je weiter vom Drehungspunkte ſie ihre Stelle erhält. Man hat dieſes Inſtrument Metronom genannt.

Auch manche Gegenſtände, bei denen wir nicht ſo gradezu an das Pendel erinnert werden, hängen doch von den Geſetzen der Pendelbewegung mehr oder weniger ab. Wenn eine Glocke durch ihren Klöppel zum Tönen gebracht werden ſoll, indem man beide in pendelartige Bewegung ſetzt, ſo müſſen nicht beide ihre Schwingungen gleichzeitig vollenden, ſondern der Mittelpunkt des Schwunges im Klöppel muß eine andre Entfernung von der Axe haben, als der Mittelpunkt des Schwunges in der Glocke. — Selbſt eine andere, anſcheinend gar nicht hieher gehörige Frage, über den Nutzen der Federn an Wagen oder Kutſchen, ſteht dennoch mit dieſen Unterſuchungen in Verbindung. Bekanntlich ſollen die Federn, auf denen der Kutſchenkaſten ruht, bewirken, daß wir die durch Ungleichheiten des Weges entſtehenden Stöße nicht ſo heftig fühlen. Indem nämlich das Rad plötzlich von einem Steine herunterfällt, folgt der an der dehnbaren Feder hängende Kutſchenkaſten zwar faſt ebenſo ſchnell, aber

ſeine Bewegung wird beim Auftreffen des Rades auf den tiefern Stein nicht plötzlich angehalten, ſondern wegen der Trägheit drückt der heruntergehende Kaſten die Feder ein wenig zuſammen und der plötzliche Stoß, den wir ſonſt empfunden hätten, geht in ein etwas länger dauerndes Schwanken über. Dabei wird zugleich den Pferden ihr Ziehen etwas erleichtert, und dieß läßt ſich durch folgende Ueberlegung erklären. Auf unſern Straßen iſt es unvermeidlich, daß nicht ein ſtets wiederholtes Herabſinken zu einem tiefern Steine mit dem Heben zum nächſten höhern wechſele, und hier müſſen die Pferde ihre größte Kraft beim Heben anwenden. Dieſes Heben bewirkt aber zum Theil die beim Stoße auf den tiefern Stein ein wenig zuſammengedrückte Feder, die ja durch ihre Ausdehnung und ihr Hinausgehen über den Ruheſtand den Kutſchenkaſten offenbar in die Höhe bringt und alſo wenigſtens in den Fällen, wo der Weg mit einiger Regelmäßigkeit unterbrochen iſt, den Pferden ihre Arbeit erleichtert. — Edgeworth's Verſuche mit Wagenmodellen ohne Federn und mit Federn zeigen, daß man faſt eben die Geſchwindigkeit bei gleicher Ziehekraft erreicht, es mögen Hinderniſſe, den tiefern und höhern Steinen ähnlich, da ſeyn oder nicht, wenn der Wagen in Federn hängt, ſtatt daß bei Wagen ohne Federn der Unterſchied ſehr erheblich iſt.

Zehnte Vorleſung.

Vom Stoße.

Die Lehre vom Stoße der Körper bietet mir, als die letzte aus der Mechanik feſter Körper, noch eine Reihe von Betrachtungen dar, womit ich Sie heute zu unterhalten gedenke.

Die Wirkungen des Stoßes hängen von der Bewegung und Maſſe der ſtoßenden Körper ab, ferner von dem Grade der Elaſticität derſelben und von der Lage und Beſchaffenheit der Flächen, welche der Stoß trifft. Die Richtung, in der der Stoß wirkt, wird angegeben durch eine ſenkrechte Linie, die man in dem Punkte, wo die Körper ſich treffen, auf ihrer gemeinſchaftlichen Berührungsebne errichtet; geht dieſe Linie durch die Schwerpunkte beider Körper, ſo iſt der Stoß ein centraler und die Körper werden nicht in Drehung verſetzt; im entgegengeſetzten Falle iſt der Stoß für einen oder für beide Körper nicht central und hat dann nothwendig eine Umdrehung des nicht central getroffenen Körpers zur Folge. In dem für die Anwendung wichtigſten Falle, wo Kugeln von gleichmäßiger Dichtigkeit aneinanderſtoßen, iſt der Stoß nothwendig ein centraler; jedoch unterſcheidet man dann noch einen graden und ſchiefen Stoß, indem bei erſterem die Bewegung beider Kugeln in einer und derſelben graden Linie und alſo auch in derſelben Richtung geſchieht, in welcher der Stoß wirkt, während bei letzterem die Richtung des Stoßes nicht

mit der der Bewegungen zuſammentrifft, was immer der Fall iſt, wenn zwei Kugeln ſich unter einem Winkel gegen einander bewegen.

Grader Stoß unelaſtiſcher Kugeln.

Wenn zwei gleiche unelaſtiſche Kugeln mit gleichen Geſchwindigkeiten einander ſo begegnen, daß die Richtungen ihrer Bewegungen einander genau entgegengeſetzt ſind, ſo werden dieſe Bewegungen im Zuſammentreffen ſich gewiß völlig aufheben. Wäre die Maſſe der einen Kugel doppelt ſo groß, als die der andern, die Geſchwindigkeit der kleinern aber doppelt ſo groß, als die der größern, ſo würden wieder beide im Zuſammentreffen alle Bewegung verlieren; denn man könnte ſich jene doppelte Maſſe als in zwei gleich hinter einander eintreffende Theile zerlegt denken, deren erſter, als der begegnenden Maſſe gleich, ihr ebenſo viel Geſchwindigkeit raubt, als er ſelbſt beſitzt, wo dann der zweite ebenſo große Theil die noch übrig bleibende ebenſo große Geſchwindigkeit der kleinern Maſſe völlig zerſtört. Dieſelbe Ueberlegung zeigt allgemein, daß zwei Kugeln, wenn ſie in grade entgegengeſetzten Richtungen auf einander treffen, ihre Bewegung gegenſeitig ganz zerſtören, wenn ihre Geſchwindigkeiten den Maſſen umgekehrt proportional ſind, das heißt, wenn die Geſchwindigkeit der kleinern ein ebenſo Vielfaches der Geſchwindigkeit der größern iſt, als die Maſſe der kleinern in der Maſſe der größern enthalten iſt. Hierauf gründet ſich der Begriff von Quantität der Bewegung. Wir ſchreiben der Maſſe von 10 Pfunden, wenn ſie mit 3 Fuß Geſchwindigkeit in 1 Secunde bewegt wird, eben die Größe oder eben die Quantität der Bewegung zu, wie eine Maſſe von 5 Pfunden, die mit 6 Fuß Geſchwindigkeit bewegt wird, oder wie einer Maſſe von 1 Pfund, die mit 30 Fuß Geſchwindigkeit in 1 Secunde fortgeht, und die Producte $10.3=5.6=1.30.$ drücken die Quantität der Bewegung aus.

Dieſe Ueberzeugung, daß beim Stoße gleiche Quantitäten der Bewegung ſich völlig aufheben, wenn die Richtungen der Bewegungen entgegengeſetzt ſind, führt zu dem zweiten Satze, daß bei unelaſtiſchen Körpern, wo gar keine neuen Kräfte thätig ſind, nach dem Stoße die Summe der Bewegungen ebenſo groß iſt als vor dem Stoße, wenn die Körper einander folgten, und daß der Unterſchied der beiden Bewegungsquantitäten vor dem Stoße die Quantität der Bewegung nach dem Stoße giebt, wenn ſie einander begegnen. Beiſpiele werden dieß völlig erläutern. Wenn zwei Kugeln einander in genau entgegengeſetzten Richtungen begegnen, die eine von 4 Pfund, die andre von 1 Pfund, jene mit der Geſchwindigkeit $= 9$, dieſe mit der Geſchwindigkeit $= 6$ Fuß in der Secunde, ſo drückt $4.9=36$ bei jener, $1.6=6$ bei dieſer die Quantität der Bewegung vor dem Stoße aus, und im Stoße behält die erſtere einen Ueberreſt von 30; aber ſie kann in ihrer Richtung nicht fortgehen, ohne auch noch das eine Pfund mit fortzureißen, und die Quantität der Bewegung $= 30$, auf die 5 vereinigten Pfunde ausgetheilt, giebt dieſen 6 Fuß Geſchwindigkeit. Die Einwirkung der mit größerer Bewegung begabten Maſſe iſt alſo eine doppelte:

erſtlich raubt ſie der begegnenden Maſſe alle Geſchwindigkeit, dazu wäre ſie bei $1\frac{1}{2}$ Fuß Geſchwindigkeit ſchon im Stande geweſen, und ihr bleiben daher $7\frac{1}{2}$ Fuß Geſchwindigkeit übrig; aber zweitens ertheilt ſie der aufgehaltenen Maſſe eine neue entgegengeſetzte Geſchwindigkeit, und dieſe muß derjenigen gleich ſeyn, die ſie ſelbſt am Ende behält; die den 4 Pfunden noch übrige Geſchwindigkeit = $7\frac{1}{2}$ Fuß wird daher unter die 5 Pfunde ſo vertheilt, daß beide Maſſen 6 Fuß Geſchwindigkeit erhalten. Man kann, obgleich der Stoß bei ziemlich harten Körpern in einem einzigen Augenblicke ſeine Wirkung zu vollenden ſcheint, dennoch dieſe Wirkung als in auf einander folgenden, ſehr kleinen Zeitmomenten vorgehend anſehen, nämlich ſo: die Maſſe 4 mit der Geſchwindigkeit 9 trifft gegen die Maſſe 1 mit der Geſchwindigkeit 6, im erſten Momente verliere die letztere 2 Fuß Geſchwindigkeit, womit ein Verluſt von $\frac{1}{2}$ Fuß bei der erſtern nothwendig verbunden iſt, die größere Maſſe behält alſo noch $8\frac{1}{2}$ Fuß, die kleinere 4 Fuß Geſchwindigkeit; im zweiten Zeitmomente tritt eben der Verluſt noch einmal ein, und 8 Fuß, 2 Fuß ſind die Geſchwindigkeiten der noch immer gegen einander andringenden Maſſen; im dritten Zeitmomente wiederholt ſich derſelbe Verluſt an Geſchwindigkeit und $7\frac{1}{2}$ Fuß, 0 Fuß ſind nun die Geſchwindigkeiten; im vierten Zeitmomente ertheilt die ſtärker bewegte Maſſe der andern eine Geſchwindigkeit, und indem jene auf 7 Fuß Geſchwindigkeit gelangt, hat dieſe 2 Fuß Geſchwindigkeit erhalten, im fünften Zeitmomente werden die Geſchwindigkeiten $6\frac{1}{2}$ Fuß und 4 Fuß, im ſechsten Zeitmomente 6 Fuß und 6 Fuß, und nun gehen beide, ohne weiter in einander einzudringen, mit dieſer gleichen Geſchwindigkeit zuſammen fort. Wenn beide Maſſen gleich von Anfang einander folgen, ſo iſt die Rechnung ganz ähnlich. Die vorangehende ſey die größere = 7 Pfund, die nachfolgende die kleinere = 3 Pfund, aber jene habe nur 2, dieſe 12 Fuß Geſchwindigkeit. Sobald die ſchnellere jene erreicht, fangen ſie an gegen einander zu drücken, und die ſchnellere verliert, die langſamere gewinnt an Geſchwindigkeit; wegen der Ungleichheit der Maſſen verliert die kleine 7 Fuß an Geſchwindigkeit, während die große nur 3 Fuß gewinnt, und wenn dieß geſchehen iſt, ſo hat jene noch 5 Fuß Geſchwindigkeit übrig und dieſe hat 5 Fuß Geſchwindigkeit erlangt; ſie gehen alſo mit dieſer Geſchwindigkeit zuſammen fort. Auch bei unbequemer zu rechnenden Fällen bleibt doch die Anordnung der Rechnung dieſelbe..

Anwendungen.

Dieſes Geſetz der Mittheilung der Geſchwindigkeit beim Stoße hat man angewandt, um die Geſchwindigkeit der aus Flinten und Kanonen abgeſchoſſenen Kugeln zu beſtimmen. Wenn man eine Kugel von 1 Pfund gegen eine ruhende Maſſe von 1000 Pfund auch mit 1000 Fuß Geſchwindigkeit abſchießt, ſo erlangt dieſe große Maſſe nur die Geſchwindigkeit = 1 Fuß (eigentlich = $\frac{1000}{1001}$ Fuß), es kommt alſo nur darauf an, dieſe Geſchwindigkeit ſehr genau zu beſtimmen. Um dieß zu thun, haben Robins, Hutton und Andre die Kugeln gegen ein ſehr ſchweres Pendel abgeſchoſſen, und indem ſie die Größe des vom Pendel

durchlaufenen Bogens mit großer Genauigkeit abmaßen, daraus die Höhe, um welche der Mittelpunkt des Schwunges gehoben war, berechneten und ſo mittelbar die Geſchwindigkeit dieſes Punktes beſtimmten, erhielten ſie die Geſchwindigkeit der abgeſchoſſenen Kugel. Die Berechnung hat freilich viel mehr Schwierigkeiten, als ich hier angeben kann, indem der genaue Punkt des Pendels, wo die Kugel auftraf, ſelbſt der Widerſtand der Luft und andre Umſtände berückſichtigt werden müſſen; aber Sie überſehen aus dem, was ich als die Hauptſache angeführt habe, daß es auf zuverläſſigen Beſtimmungen beruht, wenn man die Geſchwindigkeit der Kanonenkugeln als bis auf 1800 bis 2000 Fuß in der Secunde gehend angiebt.

Da dieſe Geſetze bei jedem centralen Stoße auch zwiſchen nicht kugelförmigen Körpern gelten, ſo gehört die dem Architekten wichtige Frage hieher: welche Feſtigkeit ein zum Grundbau eines Gebäudes eingeſchlagener Pfahl gewähre? — Wenn wir ein Gebäude aufführen auf einem Boden, der nicht feſt genug iſt, die Laſt deſſelben zu tragen, ſo rammen wir Pfähle ein, und können aus der geſammten Laſt des Gebäudes berechnen, wieviel jeder Pfahl zu tragen hat; die zu beantwortende Frage iſt alſo die, wie feſt muß der Pfahl ſtehen, wie wenig muß er bei jedem Schlage des Rammklotzes nur noch weichen, um eine jener Laſt angemeſſene Feſtigkeit zu haben? Um dieſe Frage zu beantworten, müſſen wir den Widerſtand richtig beurtheilen, den der weiche Boden dem Einſinken entgegen ſetzt, und das wollen wir zuerſt an einem Falle verſuchen, wo der Stoß des Rammklotzes ſich noch nicht in die Betrachtung einmiſcht. Es liege eine 2000 Pfund ſchwere Laſt auf einem Boden, der weich genug iſt, um ein Einſinken von 3 Fuß in 1 Minute zu geſtatten, ſo bewirkt der Widerſtand, daß das Herabſinken, welches vermöge der frei wirkenden Schwere 54000 Fuß in 1 Minute betragen ſollte, nur 3 Fuß, nur $^1/_{18000}$ jener Größe beträgt, und jener Widerſtand muß alſo $^{17999}/_{18000}$ der Schwere betragen, da er nur $^1/_{18000}$ der Schwere zur Wirkſamkeit kommen läßt.

In den Fällen dagegen, wo nur heftige Schläge den Körper zum Sinken bringen, iſt der Widerſtand viel größer als die Schwerkraft. Wenn ein Rammklotz von 2000 Pfund einen Pfahl von 1000 Pfund ſchwer in 25 Schlägen nur noch $^1/_4$ Zoll hineintreibt, ſo treibt jeder Schlag ihn nur um $^1/_{100}$ Zoll hinein, und man würde nun ſo rechnen. Der Rammklotz falle $3^3/_4$ Fuß tief, welches ein Viertel des Fallraumes in der erſten Secunde iſt, ſo hat er dazu $^1/_2$ Secunde Zeit gebraucht und alſo 15 Fuß Geſchwindigkeit erlangt; im Augenblicke des Stoßes ertheilt er dem Pfahle, der halb ſo ſchwer iſt als der Rammklotz, eine Geſchwindigkeit von 10 Fuß in der Secunde, und mit dieſer Geſchwindigkeit würden Klotz und Pfahl fortgehen, wenn weder Schwere noch Widerſtand einwirkte. Um zu beurtheilen, welcher Widerſtand es iſt, der ſchon beim Vorrücken um $^1/_{100}$ Zoll $= {}^1/_{1200}$ Fuß dieſe Geſchwindigkeit zerſtört, wollen wir überlegen, daß ein mit 10 Fuß Geſchwindigkeit aufwärts geworfener Körper $^1/_3$ Secunde lang ſteigen und $^1/_9 . 15$ Fuß $= {}^5/_3$ Fuß Höhe erreichen würde. Dieſe Höhe von $^5/_3$ oder $^{2000}/_{1200}$ Fuß iſt nöthig, damit der Widerſtand der

Schwere jene Geſchwindigkeit zerſtöre, aber ein 2000 mal ſo großer Widerſtand zerſtört ſie ſchon während eines Fortrückens von $^1/_{1200}$ Fuß, und der Widerſtand, den die Erde dem weiteren Einrammen leiſtet, iſt alſo 2000 mal ſo groß als die Schwere. Dieſer Widerſtand bleibt derſelbe, es mag eine große oder kleine Laſt auf dem Pfahle ruhen, und wenn er mit dem 2000 fachen des Gewichtes belaſtet würde, welches er jetzt trug, alſo mit 6 Millionen Pfunden, ſo würde die Laſt das Uebergewicht über den Widerſtand erhalten. Daß man übrigens die Belaſtung lange nicht ſo weit zu treiben pflegt und lange nicht ſo weit treiben darf, iſt bekannt; denn bei einer ſo ſtarken Belaſtung träte die Gefahr ein, daß jede zufällige Verminderung des Widerſtandes, Erweichung des Bodens, ſtarke Erſchütterung und dergleichen zureichte, um ein Sinken zu veranlaſſen.

Völlig dieſen Betrachtungen ähnlich iſt die Beantwortung der Frage, wie tief eine Kanonenkugel in einen Erdwall eindringt. Iſt der Widerſtand, den dieſer Erdwall leiſtet, 5000 mal ſo groß, als die Kraft der Schwere, und trifft die Kugel mit 900 Fuß Geſchwindigkeit an, ſo dringt ſie ungefähr 33 Zoll tief ein; denn die Schwere zerſtört eine Geſchwindigkeit von 900 Fuß bei einem 13500 Fuß hohen Steigen; eine 5000 fache Schwere würde dieſelbe Geſchwindigkeit bei einem Steigen von 33 Zoll zerſtören.

Grader Stoß elaſtiſcher Kugeln.

Bei dieſen Beſtimmungen wurden die an einander ſtoßenden Körper als unelaſtiſch vorausgeſetzt; bei elaſtiſchen Körpern ſind die Erfolge des Stoßes ſehr hievon verſchieden. Die Elaſticität der Körper beſteht darin, daß dieſe Körper zwar eine Aenderung der Geſtalt erlauben, aber die vorige Geſtalt mit eben der Kraft wieder anzunehmen ſtreben, mit welcher die Veränderung hervorgebracht worden war. Wenn zwei unelaſtiſche Kugeln, einander folgend, ſich erreichen, ſo drängt ſich die nachfolgende ſchnellere gegen die andre, und beide drücken einander zuſammen; während der kurzen Zeit der Dauer des Stoßes rücken die Mittelpunkte einander immer näher, und erſt wenn beide Kugeln gleiche Geſchwindigkeit erlangt haben, hört die Einwirkung des Stoßes auf, und die Kugeln behalten die etwas eingedrückte Form, die der Stoß ihnen gegeben hat. Bei elaſtiſchen Kugeln dagegen fängt nun ein zweiter Theil der ganzen Erſcheinung an, indem die von ihrer natürlichen Geſtalt abweichenden Kugeln dieſe wieder anzunehmen ſtreben. In dieſem letzten Theile der Wirkung wiederholt ſich alles das noch einmal, was in dem erſten Theile der Wirkung vorgekommen iſt, und danach läßt ſich die am Ende ſtatt findende Geſchwindigkeit beſtimmen. Wenn zwei gleiche Kugeln ſich mit gleichen Geſchwindigkeiten begegnen, ſo beſteht die erſte Einwirkung darin, daß die Mittelpunkte ſo lange gegen einander drängen, bis beide Kugeln ihre Geſchwindigkeiten verloren haben; ſind die Kugeln unelaſtiſch, ſo bleiben ſie dann in Ruhe an der Stelle, wo ſie ſich trafen, und ſind ſie weich, ſo finden wir ihre Geſtalt ſo verändert, wie das Gegeneinanderdrängen es forderte. Zwei elaſtiſche Kugeln von gleicher

Maſſe und gleicher Geſchwindigkeit zerſtören ebenſo ihre Geſchwindigkeiten gegenſeitig, indem ſie ſich begegnen; aber nachdem die Geſchwindigkeiten gänzlich zerſtört, dabei aber die Kugeln in einen gewiſſen Grad der Zuſammendrückung gebracht ſind, ſtrebt die Kraft der Elaſticität, die Kugeln wieder aus einander zu treiben, und da dieſe Kraft, womit die vorige Geſtalt ſich herſtellt, bei vollkommen elaſtiſchen Körpern ſo groß iſt, als die, welche das Zuſammenpreſſen bewirkte, ſo ertheilt ſie beiden Kugeln nach den Richtungen, die ihren erſten Bewegungen entgegengeſetzt ſind, eben die Geſchwindigkeiten wieder, die ſie hatten; begegneten ſich die Kugeln mit 3 Fuß Geſchwindigkeit, ſo gehen ſie nun mit drei Fuß Geſchwindigkeit aus einander.

Wenn eine ruhende Kugel von einer ebenſo großen Kugel mit der Geſchwindigkeit = 4 Fuß getroffen wird, ſo beſteht die erſte Wirkung des Stoßes darin, daß beide Kugeln die Geſchwindigkeit = 2 Fuß annehmen. Sind ſie unelaſtiſch, ſo behalten ſie dieſe Geſchwindigkeit; ſind ſie aber elaſtiſch, ſo bringt die aus einander drängende elaſtiſche Kraft bei der einen Kugel einen abermaligen Gewinn von 2 Fuß Geſchwindigkeit hervor, ſo daß ſie mit 4 Fuß Geſchwindigkeit fortgeht, und bei der andern Kugel bringt ſie einen abermaligen Verluſt von 2 Fuß Geſchwindigkeit hervor, ſo daß dieſe ganz zur Ruhe kommt. Die Kugeln haben alſo ihre Geſchwindigkeiten vertauſcht, **A** ruhte und **B** kam mit 4 Fuß Geſchwindigkeit vor dem Stoße an, jetzt ruht **B** und **A** hat 4 Fuß Geſchwindigkeit, und da die ganze Wirkung in einem unmerklichen Augenblicke vollendet wird, ſo bleibt **B** an dem Orte ruhend, wo ſie **A** antraf. Eben dieſes Vertauſchen der Geſchwindigkeiten findet immer ſtatt, wenn die Kugeln gleich ſind. **A** habe 5 Fuß Geſchwindigkeit, **B** folge ihr mit 7 Fuß Geſchwindigkeit; im erſten Zeitraume des Stoßes erlangt jene und verliert dieſe 1 Fuß Geſchwindigkeit und ſie würden ohne Elaſticität mit 6 Fuß Geſchwindigkeit fortgehen; aber wegen der Elaſticität gewinnt die vorangehende noch 1 Fuß und die nachfolgende verliert noch 1 Fuß, ſo daß jene mit 7 Fuß, dieſe mit 5 Fuß Geſchwindigkeit fortgeht.

Bei ungleichen Kugeln iſt die Rechnung nicht viel ſchwieriger. **A** = 2 Pfund gehe mit 4 Fuß Geſchwindigkeit voran, **B** = 1 Pfund folge mit 7 Fuß Geſchwindigkeit. Da **A** 1 Fuß gewinnt, wenn **B** 2 Fuß an Geſchwindigkeit verliert, ſo würden beide mit 5 Fuß Geſchwindigkeit fortgehen, wenn ſie unelaſtiſch wären; die Elaſticität verdoppelt jenen Gewinn und verdoppelt dieſen Verluſt, und **A** geht am Ende des Stoßes mit 6 Fuß, **B** nur mit 3 Fuß Geſchwindigkeit fort.

Dieſe Geſetze des Stoßes elaſtiſcher Körper laſſen ſich in Verſuchen beſſer darſtellen, als die Erſcheinungen des Stoßes unelaſtiſcher Körper, weil es keinen für ſolche Verſuche anwendbaren Körper giebt, der nicht noch einen beträchtlichen Grad von Elaſticität beſäße. Hängt man zwei elfenbeinerne Kugeln an gleich langen Fäden nahe neben einander vor einem Gradbogen auf, in deſſen Centrum die Fäden befeſtigt ſind, und hebt, vom unterſten Punkte an, beide zu einer gleichen Anzahl von Graden, ſo erlangen ſie gewiß beim Fallen gleiche Geſchwindigkeit; ſie prallen beim Zuſammentreffen ſo von einander ab, daß ſie

wieder faſt dieſelben Höhen erreichen, von welchen man ſie fallen ließ. Wenn dagegen eine dieſer Kugeln auf 10 Grade gehoben war, ſo geht beim Zurückprallen jene auf 30 Grade, dieſe auf 10 Grade. Hatte man die eine ganz in Ruhe gelaſſen und die andre von 30 Graden her fallen laſſen, ſo geht nach dem Stoße jene auf 30 Grade hinauf und dieſe bleibt unten in Ruhe. Sind die Kugeln ungleich und man läßt die kleinere, ich will annehmen, nur den halben Durchmeſſer oder nur ein Achtel der Maſſe der größern enthaltende, ruhen, ſo wird dieſe viel weiter fortgeſtoßen, als die größere beim Antreffen und bei der Erlangung ihrer Geſchwindigkeit fortgegangen war. Hätte nämlich dieſe 9 Fuß Geſchwindigkeit gehabt, ſo erlangt die kleinere, weil ſie nur 1/8 jener Maſſe hat, 16 Fuß Geſchwindigkeit, und wenn dieſe eine dritte noch kleinere ruhende träfe, ſo würde die Geſchwindigkeit dieſer dritten noch viel größer werden.

Hängt man fünf oder ſechs gleiche Kugeln hinter einander auf und läßt die erſte an die übrigen ruhenden treffen, ſo bleiben nach dem Stoße alle, die letzte ausgenommen, in Ruhe, und dieſe letzte erlangt die Geſchwindigkeit, welche die erſte vor dem Stoße hatte. Im Augenblicke des Stoßes verliert nämlich die erſte ihre Geſchwindigkeit ganz und überträgt ſie auf die zweite; aber dieſe trifft ſogleich die dritte und giebt ihr die erlangte Geſchwindigkeit, während ſie ſelbſt zur Ruhe kommt; ſo geht es fort, bis zur letzten, welche abprallt. Läßt man zwei hinter einander liegende Kugeln gehoben an die dritte ſtoßen, ſo prallen die zwei letzten ab, und ſo ferner; ja ſogar wenn man mehr als die Hälfte der Kugeln z. B. vier aufhebt, ſo fliegen auch vier nach dem Stoße fort. Dieſe letzte Erſcheinung erklärt ſich dadurch, daß die zugleich gehobenen Kugeln doch nicht im allerſtrengſten Sinne gleichzeitig ſtoßen; indem nun eine ſehr kleine, uns unmerkliche Zwiſchenzeit zwiſchen dem Stoße der erſten Kugel und dem der zweiten ſtatt findet, treibt die zuerſt antreffende Kugel die letzte fort und kommt ſelbſt zur Ruhe, die unmittelbar darauf antreffende ſtößt die vorletzte nun auch fort u. ſ. w. Daß wirklich zwei zugleich fallende Kugeln erſt nach einander, freilich in einer unmeßbar kurzen Zeit, ſtoßen, erkennt man am beſten an der ſehr merkbar verſchiedenen Wirkung, die ſie hervorbringen, wenn man ſie mit Wachs aneinander klebt und ſo, immer noch unvollkommen genug, zu einer Maſſe verbindet.

Der ſchiefe Stoß.

Alle dieſe Fälle gehören zu den einfacheren, wo die Richtung der Bewegung oder der Bewegungen mit der des Stoßes zuſammenfällt; aber grade die ſchwierigeren Fälle kommen uns häufig, zum Beiſpiel beim Billardſpiele, vor. Daß hier die elaſtiſche Kugel von einer feſten Wand mit eben der Geſchwindigkeit und unter eben dem Winkel, unter welchem ſie antraf, zurückgeworfen wird, iſt leicht zu erklären. Trifft die Kugel in ſenkrechter Richtung auf L M (III. Fig. 3), ſo ertheilt die Kraft der Elaſticität ihr genau eben die Geſchwindigkeit wieder, die ſie vorhin hatte; denn die Gewalt, mit welcher ſie zuſammengedrückt wurde, raubte die Geſchwindigkeit, die ebenſo große Gewalt,

mit welcher die Geſtalt ſich herſtellt, bringt eine ebenſo große neue Geſchwindigkeit hervor. Iſt die Richtung ſchief geneigt gegen die Ebne L M, ſo können wir die Bewegung des Körpers als zuſammengeſetzt aus einer Bewegung ſenkrecht gegen die Ebne und aus einer damit parallelen anſehen, und wenn A B ſein Weg in einer Secunde iſt, ſo behält er die mit der Ebne L M parallele Geſchwindigkeit, die ihn durch den Raum a b in 1 Secunde führt, auch nach dem Stoße, ſo daß er in den einzelnen Secunden ſich neben a, b, c, d, e, f befindet; aber beim Anſtoßen in d geht die ſenkrechte Geſchwindigkeit in die entgegengeſetzte über, und der Körper entfernt ſich ebenſo von L M, wie er ſich dieſer Ebne vorher näherte; er geht daher in der Linie d H zurück, die unter eben dem Winkel H d M = A d L gegen jene Ebne geneigt iſt, wie die Linie, in welcher er ſich vorher bewegte. Dieſe Zurückwerfung unter einem, dem Einfallswinkel gleichen Winkel findet bei feſten elaſtiſchen Körpern ſtatt, aber auch bei der Welle flüſſiger Körper, bei der Zurückwerfung der Lichtſtrahlen und der Wärmeſtrahlen finden wir eben das wieder.

Eben dieſe Betrachtungen beſtimmen die Richtung, wohin die vorher ruhende Kugel im Billardſpiele nach dem Stoße gelangt. Es ſey (III. Fig. 4) A dieſe ruhende Kugel, die von der nach der Richtung D B herankommenden Kugel getroffen wird. Indem die Kugeln ſich in M berühren, wo L N die gemeinſchaftliche Berührungslinie beider Kugeln iſt, wird nur die auf L N ſenkrechte Bewegung aufgehalten, die mit L N parallele Bewegung der Kugel B bleibt dagegen ungeſtört. Wir wiſſen, daß bei gleichen elaſtiſchen Kugeln ein Vertauſchen der Geſchwindigkeiten eintritt, und dieſes Vertauſchen bezieht ſich hier bloß auf die gegen L N ſenkrechte Geſchwindigkeit, ſo daß, wenn D B den Weg in 1 Secunde, alſo D E das Annähern gegen L N in 1 Secunde angiebt, dieſe Geſchwindigkeit ſich ganz auf A überträgt und für B verloren geht. Die Kugel B behält daher allein die mit L N parallele Geſchwindigkeit und kommt in der nächſten Secunde nach G, ſo daß B G = E B iſt, die Kugel A dagegen erlangt keine andere, als die auf L N ſenkrechte Geſchwindigkeit und geht nach A F ſo fort, daß ſie in 1 Secunde bis f, wo A f = D E, gelangt. Hierin liegt der Grund, warum man die Kugel A, die nach der Richtung A F gehen ſoll, an der Seite bei M und zwar da treffen muß, wo die Berührungslinie L N ſenkrecht auf die verlangte Richtung iſt.

Die Beſtimmung, daß B nach B G und A nach A F fortgeht, würde ganz genau ſeyn, wenn beide Kugeln ohne Rotation fortgingen; aber dieß iſt beim Billardſpiele nicht der Fall und ſehr geſchickte Spieler wiſſen die Abweichungen, die dadurch entſtehen, ſehr wohl zu benutzen, oder auch die Rotation der Kugel durch einen gegen den untern Theil derſelben geführten ſchnellen Stoß zu verhindern. Um von dieſen Abweichungen nur etwas anzuführen, bleibe ich bei den einfachſten Fällen ſtehen. Wenn eine Kugel grade gegen den Mittelpunkt einer gleich großen Kugel geſtoßen wird, ſo ſollte ſie dieſer ihre ganze Geſchwindigkeit ertheilen und ſelbſt ruhend bleiben; hat ſie aber eine drehende Bewegung, durch welche die obern Theile vorwärts geführt werden,

ſo wird ſie noch auf der Tafel fort, vorwärts rollen, obgleich die Bewegung des Mittelpunkts ganz gehemmt ſeyn ſollte. Wenn man eine Billardkugel dadurch forttreibt, daß man den benetzten Finger an ihr herabdrückt, ſo ſtimmt die Bewegung des Mittelpunktes mit der durch das Rollen hervorgebrachten überein; macht man dagegen denſelben Verſuch mit trockenem Finger, ſo wird durch die jetzt ſtärkere Reibung die Kugel nach der entgegengeſetzten Seite umgedreht, hat alſo ein Beſtreben zum Rückwärtsrollen. Daher kommt es, daß in dieſem Falle die Kugel ſich nur einige Zolle vorwärts bewegt, dann aber plötzlich zurückläuft, weil die Bewegung des Rollens die Oberhand gewinnt. Aus einem ähnlichen Grunde wird der Winkel beim Zurückprallen nicht immer genau dem Einfallswinkel gleich ſeyn, ſondern wenn die Rotation ein Hinwärtsgehen nach der Zurückwerfungs-Ebne zu hervorbrächte, ſo wird der Winkel zu klein, im entgegengeſetzten Falle zu groß werden. Horizontale Rotationen, das iſt Drehungen um Axen, die ſenkrecht gegen die Tafel ſind, können ähnliche Erfolge haben.

Wenn man die Lehre vom Stoße auf Körper von andern Geſtalten, oder auch nur auf Kugeln, die ihren Schwerpunkt nicht im Mittelpunkte haben, anwenden will, ſo werden die Unterſuchungen faſt immer ſehr ſchwierig. Wenn man gegen eine ruhende Kugel, deren Schwerpunkt in A läge, nach der Richtung **B D** ſtieße (**III. Fig. 5**), ſo nähme ſie, da dieſer Stoß nicht central iſt, eine rotirende Bewegung an, und die Frage, um welche Axe ſie zu rotiren anfinge, und ob ſie ihre Rotation um dieſe Axe immerwährend fortſetzen würde, oder ob die anfänglich als Axe ruhende Linie nachher der Rotation um eine andere Axe weichen würde, ſcheint mir zu ſchwierig, um ſie hier zu erörtern. Nur ſo viel muß ich erwähnen, daß der Fall eines nicht centralen Stoßes bei weitem der gewöhnlichſte und wahrſcheinlichſte iſt, daß man daher bei einer jeden durch eine Stoßkraft hervorgebrachten Bewegung faſt ſicher auch auf eine zugleich ſtattfindende Umdrehungsbewegung rechnen darf. Dieß zeigen unter andern die Bewegungen der Planeten, ferner die Kanonenkugeln, die im Allgemeinen mit ungeheurer Schnelligkeit rotiren und ſelbſt nach dem Niederfallen bisweilen durch die noch fortdauernde heftige Rotation gefährlich werden. Die Geſetze der Bewegung der gewöhnlichen Kreiſel, die Beantwortung der Frage, warum ihre gegen die Verticallinie geneigte Axe eine Kegelfläche um die Verticallinie durchläuft u. ſ. w., hat man mehrmals einer ſorgfältigen Betrachtung gewürdigt, und dieſe Betrachtung iſt wichtig, weil die Rotationsbewegungen der Himmelskörper um ihre Axen und diejenigen wechſelnden Richtungen der Axe, die ſich uns in Beziehung auf die Erde an dem Zurückgehen der Nachtgleichen zeigen, mit dieſen Bewegungen in einer nahen Beziehung ſtehen.

Ich endige hiermit die Unterſuchungen über die Bewegung feſter Körper, die freilich noch zu vielfältigen Betrachtungen Anlaß geben könnte, wenn ich mir irgend vorſetzen dürfte, dieſe Gegenſtände zu erſchöpfen, von denen ich hier nur das Wichtigſte habe darſtellen können.

Bayerische Staatsbibliothek MÜNCHEN

Elfte Vorleſung.

Wenn wir einen Blick zurückwerfen auf die Kenntniſſe, die ſich in den bisherigen Betrachtungen vor uns entwickelt haben, ſo dürfen wir, glaube ich, wohl behaupten, daß eine reiche Ernte wichtiger Belehrungen aus den zuerſt geringfügig ſcheinenden, uns zu Anfang gegebenen Beſtimmungen hervorgegangen iſt. Aufgemuntert durch dieſen glücklichen Erfolg betreten wir heute ein neues Feld lehrreicher Unterſuchungen. Bisher richteten wir nur auf die feſten Körper unſre Aufmerkſamkeit, aber auch bei flüſſigen Körpern findet ein Zuſtand des Gleichgewichts und der Bewegung ſtatt, und es ſcheint hier ſchwerer die Geſetze des Gleichgewichts und der Bewegung zu beſtimmen, da jedes Theilchen des Flüſſigen ganz unabhängig von dem andern ſcheint, ſtatt daß bei feſten Körpern nur die Bewegung einiger weniger Punkte beſtimmt zu werden brauchte und damit die Bewegung aller übrigen zugleich gegeben war. Indeß auch hier bieten ſich uns einfache Geſetze, wenigſtens für eine zahlreiche Menge von Erſcheinungen, dar.

Gleichförmige Verbreitung des Druckes in flüſſigen Körpern.

Die flüſſigen Körper haben alle die Eigenſchaft, daß ihre Theilchen, jeder Einwirkung leicht folgend, ihre Lage gegen einander bei der geringſten Veranlaſſung ändern und deshalb, wenn irgend eine Kraft auf ſie wirkt, zerfließen, wenn ſie nicht in ein Gefäß eingeſchloſſen ſind. Da, wo ein Gefäß dieſes Zerfließen hindert, zeigen ſie uns eine andere Eigenſchaft, wodurch ſie ſich auffallend von den feſten Körpern unterſcheiden, nämlich die Eigenſchaft der nach allen Seiten gleichförmigen Verbreitung des Druckes. Wenn ein feſter Körper von einer Kraft nach der Richtung B A gedrückt wird (III. Fig. 6), ſo bedarf es nur eines feſten Bodens C D, gegen welchen ſenkrecht der Druck gerichtet iſt, um ihn ganz in Ruhe zu erhalten; wäre der Körper ganz in ein Gefäß E F G H eingeſchloſſen, das ihn dicht anſchließend umgäbe, ſo würde dieſes an den Wänden E F, G H gar keinen Druck leiden, ſondern bloß der Boden F G würde eine hinreichende Feſtigkeit haben müſſen, um nicht auszuweichen. Iſt dagegen das rundum geſchloſſene Gefäß E F G H mit Waſſer gefüllt, und wird auf dieſes Waſſer vermittelſt eines in der Röhre A a a beweglichen Kolbens ein Druck ausgeübt, der nach B A, gegen den Boden F G, gerichtet iſt, ſo hat das Waſſer dadurch nicht allein ein Beſtreben gegen den Boden zu, ſondern wenn bei f oder ſelbſt bei g eine Oeffnung wäre, ſo würde auch da das Waſſer hervordringen, alſo ſelbſt an den Stellen, wo ein feſter Körper gar keinen Druck auf die Wände, vermöge des auf ihn ausgeübten Druckes, zeigen würde. Dieſe Mittheilung des Druckes findet aber nicht bloß in einigem Grade nach allen Seiten ſtatt, ſondern ſie iſt auch gleichmäßig ſtark nach allen Seiten, und wenn wir von dem, was die Schwere bewirkt, abſehen, ſo dringt das Waſſer mit gleicher Gewalt hervor, der Strahl mag in g oder

Bayerische Staatsbibliothek München

in f einen Ausgang finden, und das iſt es, was wir gleichmäßige Fortpflanzung des Druckes nach allen Seiten nennen.

Dieſe Eigenſchaft der gleichen Fortpflanzung des Druckes nach allen Seiten iſt *allen* vollkommen flüſſigen Körpern gemein, und nur die unvollkommen flüſſigen, die, wie Honig und andere zähe Flüſſigkeiten, auch eine mindere Beweglichkeit der Theile zeigen, können, zumal wenn ſie dem völligen Erſtarren ziemlich nahe ſind, eine merkliche Abweichung zeigen. Merkwürdig iſt, daß ſich hierin die körnigen Subſtanzen, beſonders Sand, denen man ſonſt einige Aehnlichkeit mit den Flüſſigkeiten zuzugeſtehen geneigt iſt, ganz weſentlich anders verhalten. Wenn man z. B. in eine lothrecht gehaltene und unten umgebogene Röhre Sand ſchüttet, ſo bewegt dieſer ſich, ſelbſt wenn er ſehr hoch aufgeſchüttet wird, nur ſehr wenig über die Biegung hinaus, und ſogar ein ſtarker Druck bringt ihn nicht zum Ausfließen am andern Ende, da eher die Röhre platzen würde. Ueberhaupt erreicht der Druck, den der Sand auf dieſe Art in Röhren ausübt, nach Hagen's Verſuchen ſehr bald eine Gränze, die er hernach auch bei noch ſo hohen Aufſchüttungen nicht überſchreitet, und dieſe Eigenſchaft durch die ſich die körnigen Subſtanzen ebenſo ſehr von den feſten als von den flüſſigen unterſcheiden, läßt ſich nur durch die bedeutende Reibung, die ſie in ſich ſelbſt und an den Wänden der Röhren zu überwinden haben, erklären.

Aber auch unter den vollkommen flüſſigen Körpern findet eine große Verſchiedenheit darin ſtatt, daß das Waſſer und ähnliche Körper tropfbar und unelaſtiſch, alle Luftarten und Dämpfe dagegen elaſtiſch ſind. Wenn in dem Gefäße EFGH Waſſer, Weingeiſt oder eine ähnliche Flüſſigkeit enthalten iſt, die das Gefäß ganz füllet, ſo läßt ſich der Kolben bei a faſt gar nicht hineindrängen und gleichwohl leidet jeder Theil der Wand des Gefäßes einen, der auf A wirkenden Kraft gemäßen, Druck; zieht man dagegen den Kolben in der Röhre aA zurück, ſo entfernt der Kolben ſich ſogleich von der Oberfläche des Waſſers und aller durch ſeine Wirkung entſtehende Druck auf die Wände hört ſogleich auf. Drückt dagegen der Kolben bei aa auf Luft, die im Gefäße enthalten iſt, ſo wird dieſe in einen engern Raum getrieben und nach Maaßgabe des geringern oder ſtärkern auf aa wirkenden Druckes erreicht dieſe Zuſammenpreſſung einen geringern oder höhern Grad; dabei iſt der Druck, den die Wände leiden, erſt dann dem vollen Werthe der auf aa drückenden Kraft angemeſſen, wenn die Zuſammendrückung den Grad erreicht hat, welchen die angebrachte Kraft hervorzubringen vermag. Wird der Kolben zurückgezogen, ſo dehnt die Luft ſich aus, und der Druck auf die Wände hört keinesweges ganz auf, obgleich er immer geringer wird, je mehr die Dichtigkeit der Luft abnimmt. Wegen dieſer Fähigkeit der Luft, ſich in einen größern Raum auszudehnen, heißt ſie *elaſtiſch*, und das Waſſer iſt dagegen *unelaſtiſch*, eben deshalb aber auch *tropfbar*. Wollten wir nämlich eine kleine Luftmaſſe, ſo wie wir einen Tropfen Waſſer hervorheben, in einen luftleeren Raum übertragen, ſo würde dieſes Theilchen ſich ſogleich ausdehnen, und alſo aufhören, einen Tropfen zu bilden; unelaſtiſche Flüſſigkeiten hingegen würden auch im

leeren Raume Tropfen bilden können, weil bei ihnen die Anziehungskraft der Atome, ſo ſchwach ſie auch iſt, doch die durch die Wärme bedingte Abſtoßungskraft übertrifft und alſo den Tropfen zuſammenhält.

Um das genau anzugeben, was ich vorhin, ohne mich genauer zu erklären, den der wirkenden Kraft angemeſſenen Druck nannte, will ich annehmen, die untere Fläche des Kolbens A enthalte einen Quadratzoll (III. Fig. 6), und bei f ſowohl als bei g ſei eine ebenſo große durch einen Deckel verſchloſſene Oeffnung; dann wird jeder dieſer Deckel mit eben der Kraft hinauswärts gedrückt, welche in B auf den Kolben wirkt, und wenn nicht entweder eine eigne Kraft dieſe Deckel feſthält, oder die Reibung, welche ſie an dem Rande der Oeffnung leiden, groß genug iſt, ſo werden ſie wirklich fortgeſtoßen werden und dem Waſſer den Ausfluß geſtatten. So wie hier die Deckel einen Druck leiden, ſo findet eben dieß auch für alle andere Theile der Wände des Gefäßes ſtatt, und es iſt wohl zu überſehen, daß jeder einzelne Quadratzoll der innern Oberfläche einen gleichen Druck leidet. Daraus entſteht die anſcheinend auffallende Folgerung, daß eine Kraft von einem Pfunde, auf den einen Quadratzoll A drückend, eine Kraft von 100 Pfunden auf die ſämmtlichen Wände ausübt, wenn dieſe 100 Quadratzolle betragen; aber dieſe Folgerung iſt gleichwohl eine nothwendige und verliert ihr paradoxes Anſehen, wenn man ſie mit andern verwandten Betrachtungen in Vergleichung ſetzt. Es ſcheint im erſten Augenblicke ebenſo auffallend, daß ein am Hebel gehaltenes Gewicht von einem einzigen Pfunde mich nöthigen kann, 200 Pfund Kraft aufzuwenden, wenn ich es mit dem Daumen erhalten will, während es an einem Hebel wirkt, der auf dem Zeigefinger ruht; und doch iſt es wahr, daß mein Daumen 100 Pfund Kraft nöthig hat, um das Gewicht von 1 Pfunde zu erhalten, wenn das letztere hundertmal ſo entfernt, als der drückende Daumen, von der Unterlage angebracht iſt, und daß mein Zeigefinger dann 101 Pfund zu tragen hat, obgleich die Laſt nur ein Pfund beträgt. Dieſes Beiſpiel hat auch inſofern Aehnlichkeit mit unſerm hier zu betrachtenden Falle, weil die Kraft = 100 Pfund am Hebel nur um $^1/_{100}$ Zoll fortgerückt wird, wenn die Laſt von einem Pfunde einen ganzen Zoll fortrückt; denn ebenſo würden hier die Wände nur ein Hunderttel Zoll auszuweichen nöthig haben, um der auf den Kolben wirkenden Kraft ein Fortrücken von einem ganzen Zoll zu geſtatten, wenn die Oberfläche des Gefäßes hundertmal ſo groß, als die Grundfläche des drückenden Kolbens wäre. Da, wo die Wände kein ſolches Ausweichen oder Nachgeben geſtatten, ſehen wir oft dieſe unerwartete Wirkung eines geringen Druckes. Ein Beiſpiel davon giebt die Erfahrung, daß man mit einem ſehr unbedeutenden Schlage auf den Stöpſel einer ganz mit Waſſer gefüllten Flaſche dieſe zerſprengen kann; — dieſer geringe Druck, den der Stöpſel, indem er den Stoß empfängt, auf das Waſſer ausübt, bringt auf alle Theile der Seitenwände einen ebenſo großen Druck hervor und zerſprengt die Flaſche, ſo gut als wenn eben der Schlag unmittelbar auf jede einzelne Stelle des Glaſes ausgeübt worden wäre. Die Gefahr, in welcher die Flaſche ſich befindet, iſt

nur dann ſo ſehr groß, wenn ſich gar keine Luft unter dem Stöpſel befindet; dieß muß darin ſeinen Grund haben, daß das ſehr ſpröde Glas doch einer nicht ganz plötzlich einwirkenden Kraft etwas nachgiebt, und daß, wenn unter dem Stöpſel ſich etwas Luft befindet, dieſe durch die erlittene Zuſammendrückung die Wirkung um etwas Weniges verzögert, eben dadurch aber auch den Stoß weniger zerſtörend macht.

Die Waſſerpreſſe.

Eine nützliche Anwendung dieſes Satzes, daß der durch Waſſer fortgepflanzte Druck der gedrückten Oberfläche proportional wirkt, giebt die Bramah'ſche Waſſerpreſſe (III. Fig. 7), die vermittelſt eines geringen angebrachten Druckes die heftigſte Gewalt ausübt. Da ſie nicht ſo angewandt werden kann, daß ſie dieſe Gewalt auf einen vollkommen ruhenden Körper ausübt, ſo muß ſie abwechſelnd einen Zutritt neuen Waſſers geſtatten, und iſt deswegen mit zwei Ventilen verſehen, die das Waſſer einlaſſen, aber ihm kein Zurückfließen geſtatten. Dieſe Ventile, die ich hier am beſten als kegelförmige Zapfen anſehen kann, verſchließen die Oeffnungen bei a und b ſo, daß der Kegel a, mit ſeinem dickern Theile oben, den Zutritt des Waſſers von unten geſtattet, bei einem Drucke von oben aber die Oeffnung ſchließt, und daß der Kegel b, mit ſeinem dickern Ende gegen E gekehrt, das Waſſer nicht aus der weitern Röhre zurückläßt. Die eigentlich wirkſamen Theile der Waſſerpreſſe ſind die beiden Kolben A und D, die von ſehr ungleichem Durchmeſſer ſind und ſich in Röhren, deren Weiten dieſen Durchmeſſern angepaßt ſind, auf und ab bewegen können. Wird ein Druck auf A ausgeübt, ſo treibt dieſer Kolben, wenn der ganze Raum A a b E D mit Waſſer gefüllt iſt, ein wenig Waſſer in die weite Röhre hinüber, und der Druck auf A theilt ſich dem Kolben D ſo mit, daß dieſer mit hundertfacher Kraft gedrückt wird, wenn er hundertmal ſo viel Oberfläche als A hat. Da ſich gewöhnlich über D ein Widerſtand befindet, der ein kleines Zurückweichen des Kolbens D geſtattet, zum Beiſpiel ein feſt zu packender Waarenballen, Bücher in der Buchbinderpreſſe und dergleichen, ſo reicht das erſte Niederdrücken des Kolbens A gewöhnlich nicht hin, um die Preſſung zu vollenden, und man iſt genöthigt ihn zurückzuziehen; dabei läßt das Ventil a neues Waſſer aus dem mit Waſſer gefüllten Gefäße U V ein, und die Röhre A füllt ſich wieder ganz mit Waſſer, während das Ventil b das ſchon im Cylinder E enthaltene Waſſer zurückhält. Ein neuer Stoß, der den Kolben A herabwärts treibt, drängt die Laſt bei D wieder höher hinauf und ſo ferner, bis man die Preſſung dadurch beendigt, daß man das Waſſer ans dem größern Cylinder durch einen am Boden angebrachten Hahn abfließen läßt. Der hier ausgeübte Druck läßt ſich leicht berechnen. Wenn der Durchmeſſer des Kolbens A = 3 Linien, der des Kolbens D = 3 Zoll iſt, ſo hat der letztere 144 mal ſo viel Oberfläche als der erſtere. Der Druck, den man mit der Hand anwendet, läßt ſich durch einen angebrachten Hebel, der den Kolben herab drückt, leicht ſo verſtärken, daß der Druck auf A 250 Pfund

betrüge, wenn die Hand auch nur 50 Pfund Kraft ausübt; dann iſt der auf D ausgeübte Druck = 144 . 250 = 36000 Pfund, und wenn man davon auch ein Drittel auf den Widerſtand der Reibung rechnet, ſo übt dennoch der Kolben D eine Gewalt von 24000 Pfunden aus. Da nun nach Eytelwein's Verſuchen ein Stück Eichenholz von 1 Zoll breit und 1 Zoll hoch mit 8000 Pfund Kraft in 1 Zoll Entfernung vom Ruhepunkte gebrochen wird, ſo würde mit jener Kraft ein Stück Eichenholz von 3 Zoll Breite und 2 Zoll Höhe, 4 Zoll vom Unterſtützungspunkte angegriffen, abgebrochen werden können. Man hat wegen dieſer ſo leicht und ſchnell anzuwendenden großen Gewalt die Waſſerpreſſe angewandt, um die einzelnen Kettenglieder, die zu einer Kettenbrücke gebraucht werden ſollen, zu prüfen, um Preſſungen von vielen Centnern zu bewirken u. ſ. w. Daß aber dieſe Waſſerpreſſe mit der größten Sorgfalt gemacht ſeyn muß, damit kein Waſſer zwiſchen dem Kolben und der Röhrenwand durchdringe, verſteht ſich von ſelbſt.

Es verdient wohl bei dieſer Gelegenheit auch die Ueberlegung, wie dick die Wände des Cylinders und der Röhre ſeyn müſſen, um nicht ſelbſt von dieſem mächtigen Drucke zerriſſen zu werden, eine nähere Betrachtung. Wir wollen uns vorſtellen, man habe abſichtlich dem Cylinder, deſſen Querſchnitt ABCD vorſtellt (III. Fig. 8), in B und D eine etwas ſchwächere Stelle gegeben, damit er, wenn er zerriſſe, gerade hier zerreiße, ſo läßt ſich leicht zeigen, daß der hiezu wirkſame Druck des in der Röhre A B C D enthaltenen Waſſers ebenſo groß iſt, als der Druck auf eine ebne Wand F E ſeyn würde. In unſerm vorigen Beiſpiele war für den weitern Cylinder E F = 3 Zoll, alſo auf jeden Zoll Höhe der Druck ſo groß als auf 3 Quadratzoll des Kolbens, oder wenn der ganze Cylinder 6 Zoll hoch iſt, der ganze Druck ſo groß wie auf 18 Quadratzoll des Kolbens. Der Kolben von 3 Zoll Durchmeſſer enthält etwas über 7 Quadratzoll, und von den 36000 Pfund Druck, die er leidet, kommen mithin etwa 5000 Pfund auf jeden Quadratzoll, 90000 Pfund auf jene 18 Quadratzolle; 90000 Pfund Kraft wirken alſo, um den Cylinder aus einander zu reißen. Da man die Feſtigkeit des Metalles, das ſich freilich nicht im geringſten dehnen darf, doch gewiß auf 23000 Pfund für 1 Quadratzoll rechnen kann, ſo iſt der Cylinder bei $\frac{1}{3}$ Zoll Dicke der Wände ſtark genug, indem zwei Wände von 6 Zoll lang, die bei $\frac{1}{3}$ Zoll Dicke alſo 4 Quadratzoll Bruchfläche halten, aus einander geriſſen werden müßten, wenn der Cylinder zerſprengt werden ſollte, dieſe aber 23000 . 4 oder 92000 Pfund Widerſtand darbieten. Der nur $\frac{1}{12}$ ſo weite Cylinder A braucht bei weitem nicht dieſe Dicke der Wände zu haben, da die zerreißende Kraft dem Durchmeſſer der Röhre proportional iſt, und um auch bei dem größeren Cylinder vor dem Zerreißen vollkommen geſichert zu ſeyn, pflegt man ein Ventil anzubringen, das durch ein Gewicht zugedrückt wird und alſo im Allgemeinen geſchloſſen iſt, das ſich aber von ſelbſt öffnet und dem Waſſer den Ausfluß geſtattet, wenn der Druck die feſtgeſetzte Gränze überſchreitet.

Man hat bei dieſen Preſſen die Kraft bis auf 300000 Pfund getrieben

und kann bei gehöriger Erweiterung des größern Cylinders ſie noch weiter treiben; daß ſie dann zum Heben großer Laſten auf geringe Höhen, und ſelbſt bei geringerer Größe zum Auspreſſen von Extracten, zum Tuchpreſſen u. ſ. w. dienen können, erhellt leicht.

Gleichgewicht des Waſſers in Gefäßen und Röhren.

Dieſe Betrachtungen ließen ſich ohne Rückſicht auf die Schwere des Waſſers anſtellen; denn in der That iſt in der Waſſerpreſſe und in manchen ähnlichen Fällen die gebrauchte Waſſermenge ſo gering, daß das Gewicht derſelben dabei ganz unbeachtet bleiben darf; aber auch die Wirkung, welche die Schwere ausübt, läßt ſich jetzt leicht angeben. Jedes höher liegende Waſſertheilchen drückt offenbar auf das zunächſt unter ihm liegende, aber dieſes übt nun nicht bloß einen Druck nach unten, ſondern auch nach der Seite aus. In dieſen wenigen Worten liegt der Aufſchluß über eine Menge einzelner Erſcheinungen, die wir jetzt nach und nach betrachten wollen. Das Waſſer kann nicht anders, als mit horizontaler Oberfläche ruhen, d. h. ſo, daß die Lothlinie ſenkrecht gegen dieſe Oberfläche iſt. Denn wäre ein Waſſertheilchen a über die Horizontallinie AB der übrigen Oberfläche erhaben (III. Fig. 9), ſo drückte dieſes auf das unter ihm liegende Theilchen b, dieſes aber würde vermöge des daraus hervorgehenden Seitendruckes gegen das Theilchen c drücken, welches, als unbelaſtet, keinen gleichen Druck entgegenſetzen kann, alſo ausweichen muß, die Ruhe der Oberfläche tritt alſo erſt ein, wenn kein Theilchen mehr höher, als die übrigen, liegt.

Der Druck, den jedes Waſſertheilchen leidet, iſt ſeiner Tiefe unter der Oberfläche proportional, und es kömmt dabei nicht darauf an, ob es wie F eine Waſſerſäule Fc grade über ſich hat, oder ob es wie G nur von der Seite her dieſen Druck empfängt. Denn indem das Waſſer bei F, unter der gradezu darauf ruhenden Waſſermaſſe cF, einen Druck, dem Gewichte dieſer Waſſerſäule gleich, leidet, pflanzt ſich dieſer Druck nach allen Seiten gleich fort, und jedes Theilchen in der horizontalen Schicht FG leidet einen ebenſo großen Druck. Die Größe dieſes Druckes auf eine Fläche von beſtimmter Ausdehnung läßt ſich leicht berechnen, wenn man weiß, daß der Cubikfuß Waſſer ungefähr 70 Pfund wiegt; in 1 Fuß Tiefe unter dem Waſſer beträgt der Druck des Waſſers 70 Pfund auf den Quadratfuß oder etwa $1/2$ Pfund auf den Quadratzoll, in 1000 Fuß Tiefe 500 Pfund auf den Quadratzoll. Dieſer mächtige Druck iſt es, der ſo oft zu der Erfahrung Anlaß gegeben hat, daß ſehr tief ins Meer verſenkte leere Flaſchen zerdrückt oder trotz der guten Verſchließung mit Waſſer gefüllt wurden; dieſer Druck war es, der, nach Scoresby's Erzählung, ein Boot, welches ein Wallfiſch mit in die große Tiefe von vielleicht 1000 Fuß hinabgezogen hatte, ſo verändert hatte, daß es nie wieder recht tauglich wurde, indem nicht allein alle Poren mit Waſſer gefüllt waren, ſondern auch das Holz ſelbſt (unter einem Drucke von vielleicht 70000 Pfunden von beiden Seiten auf jeden Quadratfuß) ſo ſchwer

an ſich ſelbſt, ſo verdichtet geworden war, daß es auch ausgetrocknet nicht mehr die nöthige Leichtigkeit wieder erlangte.

Eben den Druck, welchen die Waſſertheilchen ſelbſt in beſtimmter Tiefe leiden, haben auch die Wände in einer ſtets gegen die Wand ſenkrechten Richtung zu ertragen. Liegt der Punkt G zehn Fuß tief unter der Oberfläche des Waſſers, ſo hat jeder Quadratzoll in dieſer Gegend der Wand einen Druck von ungefähr 5 Pfund auszuhalten. Selbſt die als horizontaler Boden oberhalb des Waſſers liegende Wand H I hat einen ähnlichen Druck hinaufwärts zu leiden, nämlich auf jeden Quadratzoll einen Druck ſo groß, als das Gewicht einer Waſſerſäule von 1 Quadratzoll Querſchnitt, deren Höhe ſo groß wäre, als die Tiefe der Fläche H I unter der freien Oberfläche A B des Waſſers.

Daran ſchließt ſich ferner die Ueberzeugung an, daß das Waſſer in zwei Röhren, die mit einander in Verbindung ſtehen, bis zu einerlei Horizontallinie hinaufreichen, oder das in der Röhre A B C D (III. Fig. 10) befindliche Waſſer beim Zuſtande der Ruhe in A a, D d eine einzige horizontale Ebene darſtellen muß, es mag nun übrigens die Geſtalt der Röhren ſeyn, welche ſie wolle. Wäre bei C oder irgendwo ſonſt ein feſter horizontaler Boden, ſo würde dieſer durch das in A B befindliche Waſſer hinaufwärts gedrängt mit einer Gewalt, welche der Höhe der Fläche A a über dieſem Boden angemeſſen iſt; eben dieſer feſte Boden wird durch das Waſſer in C d herabwärts gedrückt, und dieſe Preſſungen ſind nur dann gleich oder erhalten ſich nur dann im Gleichgewichte, wenn das Waſſer in D d ſo hoch, als in A a ſteht; offenbar iſt aber dieſe Gleichheit des Druckes von beiden Seiten für jede Schicht der Flüſſigkeit erforderlich, weil ſonſt ſo lange Bewegung ſtatt finden würde, bis eben dieſes Gleichgewicht einträte.

Waſſerwaagen.

Man hat dieſe verbundenen Röhren oft zum Nivelliren, zum Beſtimmen der Lage gleich hoher Punkte, angewandt, und wo es, wie beim Anlegen einer Straße, auf einige Zolle nicht ankömmt, da kann man ſich allerdings dieſer ſogenannten Kanalwaage bedienen. Ihr Gebrauch beſteht darin, daß man, über die beiden Oberflächen A B, C D (III. Fig. 11), die um etwa 4 oder 5 Fuß von einander entfernt ſind, wegſehend, an einem in 100 Fuß Entfernung oder noch weiter entfernt aufgerichteten Maaßſtabe den Punkt beſtimmt, den die Linie A D trifft; findet man dieſes Punktes Höhe über dem Boden 10 Zoll höher, als die Höhe der Oberfläche A D, da wo man ſteht, über dem Boden iſt, ſo hat ſich der Boden bis dorthin um 10 Zoll geſenkt.

Statt dieſer unvollkommenen Kanalwaage iſt es freilich beſſer, ſich eines ähnlichen, aber kleineren, mit Queckſilber gefüllten Gefäßes zu bedienen, wo auf den beiden Queckſilberflächen Würfel mit darauf befeſtigten Dioptern ſchwimmen, oder die Niveaus mit einer Luftblaſe anzuwenden, wo nämlich die Röhre L M (III. Fig. 12) nicht ganz mit Flüſſigkeit gefüllt iſt und wo bei genau horizontaler Stellung der Röhre L M der leere Raum genau die Mitte

einnehmen muß. Dieſe iſt zu dieſem Zwecke durch Theilſtriche, die von der genauen Mitte an nach beiden Seiten mit gleichen Zahlen bezeichnet ſind, kenntlich gemacht. Wenn mit dieſem Niveau ein Fernrohr P Q ſo verbunden iſt, daß die Axe des Fernrohrs genau horizontal ſteht, wenn ſich die Luftblaſe in der Mitte befindet, ſo dient dieſes, um Punkte, mit der Axe des Fernrohrs gleich hoch, zu beſtimmen. Dabei bietet ſich zugleich ein Mittel dar, um zu entdecken, ob wirklich die Axe des Fernrohres horizontal iſt, wenn das Niveau die richtige Stellung erreicht hat. Wäre dieß nicht der Fall, ſondern wäre (III. Fig. 13) das Fernrohr A B nicht mit dem Niveau C D parallel, ſo würde man nach einem unrichtigen Punkte E des entfernten Gegenſtandes viſiren; aber wenn man das Niveau ſo umwendet, daß C nach der Seite kömmt, wo vorhin D war, und nun das Fernrohr A B in ſeinen ungleich hohen Unterlagen ſo legt, daß man abermals nach jenem Gegenſtande viſiren kann, ſo wird die neue Lage des Fernrohres a b auf einen zu tiefen Punkt F gerichtet ſeyn, wenn es vorhin auf einen zu hohen Punkt E gerichtet war, und man erkennt ſogleich den Fehler des Inſtruments. Bei dem gewöhnlichen Gebrauche des Nivellir-Inſtruments bedarf man meiſtens keiner ſo überaus großen Genauigkeit des Niveaus; denn wenn auch bei dem Berichtigen der Stellung das Fernrohr um eine ganze Minute von der Horizontallinie abwiche, ſo würde, bei einer Entfernung von 250 Fuß, der Fehler in der Höhe doch noch keinen Zoll betragen. Und es iſt freilich ein Glück, daß man bei der unſichern Aufſtellung im Freien keiner größern Genauigkeit zu bedürfen pflegt, indem es ſchwer ſeyn würde, bei den hier unvermeidlichen Schwankungen des Inſtruments die äußerſte Genauigkeit zu erreichen. Diejenigen Niveaus, deren der Aſtronom ſich bedient, um der Axe ſeines Mittagsfernrohrs eine horizontale Lage zu geben oder überhaupt die Stellung der Inſtrumente zu berichtigen, müſſen ſo fein gearbeitet ſeyn, daß ſie noch eine Abweichung des Niveaus von der horizontalen Lage zeigen, wenn dieſe Abweichung auch nur eine Secunde beträgt.

Gleichgewicht verſchiedenartiger Flüſſigkeiten.

Wenn in zwei ſo verbundenen Röhren flüſſige Körper von ungleicher Dichtigkeit ſich befinden, ſo ſtehen die Oberflächen nicht gleich hoch. Man fülle die Röhren (III. Fig. 22) bis an A B mit Queckſilber, gieße nun aber bei E Waſſer ein, ſo drückt dieſes freilich das Queckſilber herab und bringt es in der andern Röhre zum Steigen; aber wenn die Queckſilberfläche D im andern Schenkel um 1 Zoll über der Oberfläche des Queckſilbers in C ſteht, ſo muß das Waſſer in E bis ungefähr 14 Zoll über C hinaufreichen. Die hohe Waſſerſäule von 14 Zollen hält alſo der 1 Zoll hohen Queckſilberſäule das Gleichgewicht. Wenn wir uns vorſtellen, wir begäben uns mit einer zweiſchenkligen Röhre, deren einer Schenkel dem freien Zutritte des umgebenden Waſſers ausgeſetzt wäre, unter Waſſer, und richteten es ſo ein, daß das Queckſilber im andern Schenkel gegen den Druck des Waſſers geſichert wäre,

ſo könnten wir, wenn das Queckſilber bis an D, einen Fuß hoch über C hinaufgetrieben wäre, ſchließen, daß wir uns 14 Fuß tief unter der Oberfläche E des Waſſers befänden. Auf ähnliche Weiſe zeigt unſer Barometer, wie hoch das Luftmeer, auf deſſen Boden wir uns befinden, über uns hinauf reicht.

Befinden ſich Flüſſigkeiten von verſchiedener Dichtigkeit, die ſich nicht miſchen, in einem Gefäße, ſo ordnen ſie ſich in horizontale Schichten und die ſchwereren nehmen den untern Platz ein. Auf dieſem Beſtreben der ſchwereren Flüſſigkeiten, den untern Platz einzunehmen, beruht das Experiment, welches man ſcherzhaft die Kunſt, Waſſer in Wein zu verwandeln, zu nennen pflegt. Man bedient ſich dabei eines Gefäßes (III. Fig. 14), deſſen oberer Theil B mit dem gleich großen untern A durch eine ſehr enge Röhre C verbunden iſt; der untere Theil wird mit rothem Weine, der obere mit Waſſer gefüllt. Wenn man nun das Gefäß ganz ruhig ſtehen läßt, ſo ſteigt der leichtere Wein durch die Röhre C hinauf, und dringt wie ein feiner Strom bis an die Oberfläche des Waſſers in B, wo ſich eine nach und nach immer ſtärker werdende Schicht von Wein ſammelt, ſtatt daß Waſſer aus dieſem oberen Gefäße in das untere dringt. Ueberhaupt müſſen immer Strömungen eintreten, wenn leichtere und ſchwerere Flüſſigkeitstheilchen ſich in derſelben horizontalen Schicht nebeneinander befinden, welcher Fall beſonders häufig eintritt, ſobald durch theilweiſe Erwärmung ein Theil der Flüſſigkeit ausgedehnt und darum leichter wird. Wenn wir ein Gefäß mit Waſſer ſo ans Feuer ſetzen, daß nur die eine Seite ſtark erwärmt wird, ſo ſehen wir ſchon vor dem Kochen und oft ſelbſt noch während des Kochens einen Strom an der erhitzten Wand hinauf und oben von ihr abwärts nach der Mitte des Gefäßes gehen, wovon wir die Urſache leicht angeben können, wenn wir uns das erwärmte Waſſer in A von dem noch kalten Waſſer in B (III. Fig. 15) durch eine Wand getrennt denken, in welcher ſich nur oben und unten eine Oeffnung bei C und D befindet. Iſt nämlich unten bei D der Druck des kalten Waſſers ſo groß, als der des warmen, welches dadurch geſchehen könnte, daß die wärmere Waſſerſäule eine größere Höhe hätte, ſo iſt in C der Druck des kalten Waſſers um das Gewicht der ſchwerern Waſſerſäule C D vermindert, dagegen der Druck des warmen Waſſers nur um das Gewicht der leichtern Waſſerſäule c d; das wärmere Waſſer übt alſo in der obern Oeffnung einen ſtärkern Druck aus, als das kältere, und ſtrömt hier in den kältern Raum ein; da aber dadurch die Waſſermaſſe in dem kältern Raume vermehrt wird, ſo ſtrömt in D das kalte Waſſer nach dem wärmeren Raume zu, und es entſteht ein fortdauernder Kreislauf. Auf ähnliche Weiſe verhält es ſich, wenn eine größere Oeffnung beide Räume verbindet oder wenn gar keine Wand vorhanden iſt.

Auch in den Meeren ſcheint es vorzüglich dieſe Ungleichheit des Druckes zu ſeyn, die ſo mannigfaltige Strömungen hervorbringt. Es iſt ſehr wahrſcheinlich, daß in den großen Meeren ein Strom in der Tiefe von den Polen gegen den Aequator geht, der dorthin kaltes Waſſer führt, während wir in manchen Gegenden ſehr auffallend eine warme Strömung an der Oberfläche

gegen die Pole zu bemerken. Aber hiebei finden ſo viele andre Urſachen mit ſtatt, daß die Erſcheinungen ein mehr verwickeltes Anſehen erhalten. Der Hauptſtrom der Meere nämlich, welcher unter dem Aequator und in den tropiſchen Gegenden von Oſten nach Weſten geht, ſcheint theils von der beſtändig nach dieſer Richtung fortgehenden Fluth, theils von der in öſtlichern Gegenden immer etwas größern Erwärmung des Waſſers, theils von dem öſtlichen Paſſatwinde herzukommen. Was die Erwärmung betrifft, ſo ſcheint es zwar, daß von jedem mehr erwärmten Punkte aus ein Strom an der Oberfläche, nach Oſten ſowohl, als nach Weſten, entſtehen ſollte; aber indem die Sonne und mit ihr die am meiſten erwärmte Gegend unaufhörlich nach Weſten fortrückt, wird der nach Oſten gehende Strom in jedem Augenblicke zerſtört, der nach Weſten gehende dagegen verſtärkt. Dieſer im Atlantiſchen Meere ſo ſehr merkliche Strom, der vielleicht ſehr weſentlich zur Ausbildung der Form beigetragen hat, welche die Küſten America's erhalten haben, drängt ſich da, wo dieſe Küſten ſeinen Fortgang hindern, nördlich und iſt als warmer Strom unter dem Namen Golphſtrom noch in ſehr nördlichen Gegenden kenntlich. Was in dieſen Gegenden ſeinen genau beſtimmten Lauf ſo feſt auf eine gewiſſe Breite, auf eine gewiſſe Richtung beſchränkt, wie von Humboldt es ſo ſchön und belehrend nachweiſt, ob davon die große Tiefe der Meere in den Gegenden dieſes Stromes die Urſache iſt, oder ob dieſe Tiefe durch den Strom erſt gebildet iſt, das iſt wohl nicht ganz zu entſcheiden möglich. Aber merkwürdig iſt, daß neben ihm, dicht an der Küſte des nördlichſten America bei Neu-Fundland, Neu-Schottland, Cap Breton, ein kalter Strom ſtatt zu finden ſcheint.

Auffallende Erſcheinungen des Waſſerdrucks.

Die allgemeinen vorhin von uns als gültig erkannten Beſtimmungen über den Druck, den Waſſer oder irgend eine andre Flüſſigkeit durch das bloße Gewicht hervorbringt, zeigen ſich bei genauer Erwägung auch in denjenigen beſondern Fällen als genügend, die auf den erſten Anblick etwas Ueberraſchendes darzubieten ſcheinen.

Zu dieſen auffallenden Erſcheinungen, die man als hydroſtatiſche Paradoxen anzuführen pflegt, gehört zuerſt die, daß der Druck, welchen der Boden eines mit Waſſer gefüllten Gefäßes leidet, viel größer, als das Gewicht der ganzen Waſſermaſſe ſeyn kann, und daß dennoch, auf einer Waagſchale abgewogen, nur das Gewicht der Waſſermaſſe in Betrachtung kömmt. Wenn das Gefäß die Form ABCD (III. Fig. 16) hat, ſo wird der Boden bei U durch die ganze Laſt der darüberſtehenden Waſſerſäule gedrückt, und es iſt wegen der Verbreitung des Druckes nach allen Seiten offenbar, daß der ganze Boden BC in jedem Punkte ebenſo ſtark gedrückt wird, alſo einen Druck leidet, der dem Gewichte des Waſſercylinders EBCF gleich iſt. Könnte man den Boden beweglich machen und es ſo einrichten, daß man durch ein Gegengewicht ihn, ohne erhebliche Reibung, erhielte, ſo würde ſich wirklich der Druck

ſo groß finden, obgleich das ganze mit Waſſer gefüllte feſte Gefäß A B C D gewiß doch nur ſo viel wiegt, als der darin enthaltenen Maſſe angemeſſen iſt. Der Grund hiervon iſt leicht zu überſehen. Der Theil B G, C H des Gefäßes nämlich leidet einen Druck hinaufwärts, und dieſer hebt grade ſo viel von dem hinabwärts gerichteten Drucke auf, daß nur das wahre Gewicht der Maſſe übrig bleibt. Da, wo der obere Boden eine ſolche Form, wie H I (III. Fig. 9) hat, daß er nämlich horizontal und mit dem horizontalen untern Boden parallel iſt, wird H I von dem bis an A B reichenden Waſſer mit einer Gewalt hinaufwärts gedrückt, die dem Gewichte der Waſſerſäule, welche in B H I L Platz finden könnte, gleich iſt, und der Theil des Bodens K M wird hinabwärts gedrückt durch eine Kraft, die dem Gewichte der Waſſerſäule B K M L gleich iſt; der Ueberſchuß dieſes Druckes hinabwärts iſt der Druck, den ich beim Tragen des Gefäßes nur empfinde, und dieſer iſt der Waſſermaſſe H I K M gleich. Ganz ähnlich verhält es ſich auch bei jedem andern Gefäße A B C D (III. Fig. 16). Hier leidet die ſchief geneigte Fläche a b einen größern Druck, als die horizontale Fläche a c, wenn ſie das Gefäß begränzte, leiden würde, nämlich darum einen größern Druck, weil a b größer als a c iſt, aber von dieſem ſchief gegen die Verticallinie geneigten Drucke findet ſich bei der Zerlegung in einen verticalen und in einen horizontalen Druck der vertical aufwärts gerichtete genau dem Gewichte der Waſſerſäule d e b a gleich, die über a b ſtehen würde, wenn der ganze Cylinder E F C B mit Waſſer gefüllt wäre, und der Druck auf f g dem Gewichte der ganzen Waſſerſäule d e g f gleich; beide ſtreben einander entgegen und würden das Gefäß, wenn es ſchwach genug wäre, zerſprengen; aber wer das ganze, hinreichend feſte Gefäß hält, empfindet nur den aus der Differenz beider hervorgehenden Druck, oder, in Beziehung auf alle ähnliche Waſſerſäulen geſprochen, hat er das Gewicht aller dieſer Waſſerſäulen zu tragen.

Und eben hierin liegt denn auch der Aufſchluß über eine ähnliche Ungleichheit im Seitendrucke. Wenn die Wand C D (III. Fig. 17) viel größer als die gegenüberſtehende A B iſt, ſo leidet freilich C D einen größern Druck, aber der bei der Zerlegung hervorgehende horizontale Druck iſt ſo groß für A B als für C D, und das Gefäß zeigt daher kein Beſtreben nach horizontaler Richtung fortzurücken, ſo lange alle Wände des Gefäßes feſt vereinigt bleiben oder das Gefäß nicht zerſprengt wird.

Eben dieſes bisher betrachtete Paradoxon, wie man es ſo oft genannt hat, findet ſich in vielen einzelnen Phänomenen wieder. Wenn man den weiten Schenkel A B (III. Fig. 18) der Röhre A B C D, deren enger Schenkel C D ſehr hoch iſt, mit Blaſe feſt zubindet und dieſe Blaſe mit großen Gewichten beſchwert, ſo wird dennoch, nachdem C D bis oben gefüllt iſt, die Blaſe ſtark nach außen gedrängt und das aufgelegte Gewicht gehoben werden, obgleich die in C D drückende Waſſermenge ſehr gering iſt. Wäre C D ſo eng, daß ihr Querſchnitt nur 1 Quadratzoll betrüge, ſo faßt ſie ſelbſt bei 10 Fuß Höhe nur etwa 5 Pfund Waſſer; iſt dagegen A B einen Quadratfuß groß und das

Waſſer ſteht in C 10 Fuß höher als in AB, ſo leidet die Oberfläche AB einen Druck von 700 Pfunden, den jene 5 Pfunde ausüben. Ein andrer Verſuch iſt faſt noch auffallender. Man ſtelle das cylindriſche Gefäß AB (III. Fig. 19) auf eine Waagſchale oder verbinde es mit dem Ende des Waagebalkens AD, gieße nur wenig Waſſer hinein und bringe alles ins Gleichgewicht. Nun ſtelle man die Waage ſo auf, daß ſie ſich vertical unter dem ſoliden Cylinder CD befinde, der an einem feſten Fuße E ſo befeſtigt iſt, daß man ihn herabſchrauben kann. Man ſchraube ihn ſo herab, daß er, ohne das Gefäß AB irgend zu berühren, ſich in das Waſſer eintaucht und dieſes alſo zu einer größern Höhe über dem Boden des Gefäßes anſteigen macht, ſo reicht nun das in der andern Schale liegende Gewicht nicht mehr zum Gleichgewichte aus, ſondern man muß jetzt ſo viel Gewicht auflegen, als der ganze Waſſercylinder bis zu der Höhe, wo ſich die Oberfläche des Waſſers befindet, wiegen würde. Iſt alſo der ſolide Cylinder von nicht viel geringerem Durchmeſſer, als die innere Höhlung des Gefäßes, ſo kann man eine geringe Quantität Waſſer bis zu einer großen Höhe in dieſem ſchmalen ringförmigen Raume hinauftreiben und den Druck auf die Waagſchalen ſehr vermehren. Daß es hier nicht das Gewicht des Cylinders CD iſt, welches auf die Waagſchale drückt, davon kann man ſich wohl leicht überzeugen, da dieſes durch den Fuß E vollkommen unterſtützt wird; es iſt alſo bloß der Druck auf den Boden des Gefäßes, dem zwar ein Gegendruck auf den untern Boden des ſoliden Cylinders entgegenſteht, welcher letztere aber auf die Waagſchale keine Wirkung äußert.

Anwendung bei Waſſerbauten und bei Maſchinen.

Der mächtige Druck, welchen eine hohe Waſſerſäule ſelbſt da ausübt, wo ſie nur ſeitwärts her einen Zugang findet, iſt den Waſſerbaumeiſtern ſehr wohl bekannt und nöthigt ſie, die äußerſte Sorgfalt anzuwenden, daß kein ſolcher Druck ſtattfinden könne. Wenn eine Schleuſe entweder das höher ſtehende Waſſer eines Stromes oder des Meeres zurückhalten ſoll, oder wenn ſie zum Durchlaſſen von Schiffen in einem Kanale beſtimmt iſt, ſo muß ſie ſehr oft an der einen Seite den Druck eines hochſtehenden Waſſers ertragen, während an der andern nur eine niedrige Waſſerſäule drückt; hätte ſich nun hier unter dem Schleuſenboden AB (III. Fig. 20) ein Zugang für das Waſſer von C her gefunden, ſo würde ein 20 Fuß langer Balken AB, wenn das Waſſer in C 10 Fuß höher als in DE ſteht, mit dem Gewichte von 200 Cubikfuß Waſſer, das iſt, mit 14000 Pfunden gedrückt, und eine 20 Fuß breite Schleuſe würde auf den ſämmtlichen zwanzig Balken ihres Bodens einen Druck von 280000 Pfunden auszuhalten haben, der gewiß ſehr wohl den Schleuſenboden hinaufwärts drängen könnte. Man verwahrt aus dieſem Grunde den Boden unter den Schleuſenthüren mit ſehr ſorgfältig in einander genutheten Pfählen AG, damit kein Waſſer unter AB eindringe. Die Schiffsdocken, in welche die großen Schiffe, auf hinreichend tiefem Waſſer einfahrend, eingelaſſen

werden, und die dann, nachdem die Thüren feſt verſchloſſen und waſſerdicht gemacht worden, vom Waſſer befreiet werden, damit an den trocken gelegten Schiffen die Reparatur leichter vollendet werden könne, müſſen ebenſo gegen den Zudrang des Waſſers unter ihren Boden geſichert ſeyn, da ſonſt der Boden, wäre er auch von den ſchwerſten Steinen, gehoben werden würde.

Dieſen mächtigen Druck, der ſo nachtheilig werden kann, hat man bei der Waſſerſäulenmaſchine nützlich angewandt, indem man ihn da zum Heben der Pumpenkolben in tiefen Schachten und auf ähnliche Weiſe braucht. Die weſentlichen Theile der Waſſerſäulenmaſchine zeigt die Figur (III. Fig. 21). Die ſehr hohe Zuleitungsröhre AB wird von oben durch zufließendes Waſſer gefüllt, und hat Waſſerzufluß genug, um gefüllt zu bleiben, wenn auch der Hahn C eine Zeit lang geöffnet wird und das Waſſer in das weite Rohr ED einläßt. Hier iſt ein in der cylindriſchen Röhre beweglicher Kolben ED, der mit dem Pumpenkolben H an einem Hebelarme GF, der ſich um G dreht, hängend den Pumpenkolben hebt, wenn ED ſelbſt gehoben wird. Das durch den Hahn C eingelaſſene Waſſer hebt ED mit großer Gewalt, nämlich mit einer der Oberfläche des Kolbens proportionalen Kraft aufwärts; aber ſobald dieſer Kolben die gehörige Höhe erreicht hat, dreht man den Hahn C ſo, daß er gegen B geſchloſſen iſt, das Waſſer aus der Röhre ED aber unten ausfließen läßt. Iſt dieß geſchehen, ſo drückt das Uebergewicht des Kolbens dieſen wieder herab, und eine neue Drehung des Hahnes öffnet aufs neue dem Waſſer den Zugang nach ED, um einen neuen Kolbenzug zu bewirken. Der Hahn C hat zu dieſem Zwecke zwei gar nicht mit einander zuſammentreffende Bohrungen, deren eine grade durch geht, um die Röhre B mit CD zu verbinden, die andere geht von der Seite nach unten, um, wenn ihre Oeffnung nach a gewandt iſt, das Waſſer dort von der Seite a her auszulaſſen, während es in der Röhre AB geſperrt bleibt. Die Einrichtung kann nun leicht ſo getroffen werden, daß die Maſchine ſelbſt die gehörige Drehung des Hahnes bewirkt, auch kann das zufließende Waſſer abwechſelnd auf die untere und auf die obere Seite des Kolbens geleitet werden, ſo daß ſowohl das Niedergehen als das Aufſteigen des Kolbens durch die Waſſerkraft bewirkt wird.

Doch nicht bloß die Fälle, wo eine geringe Waſſermaſſe eine ſehr große Kraft ausübt, ſind merkwürdig, ſondern auch der einfache Seitendruck einer Waſſer- oder Queckſilbermaſſe giebt uns zu nützlichen Bemerkungen Anlaß. Wenn ein hohes Gefäß mit einer Flüſſigkeit gefüllt iſt, ſo verdient ſchon die Ueberlegung, ob der untere Theil der Wände auch den ſtarken Druck aushalten kann, einige Aufmerkſamkeit. Vorzüglich iſt dieß bei dem ſchweren Queckſilber der Fall, das bei 2 Fuß Höhe auf den untern Theil der Wände einen Druck von 14 Pfund auf den Quadratzoll ausübt, das daher eine Glaswand von mehreren Zollen Breite wohl zerſprengen kann und ſich durch jede nur irgend dem Drucke nachgebende Verbindung eine Oeffnung ſucht. Auch der Druck der Erde, wenn ſie gleich kein flüſſiger Körper iſt, gehört hierher. Wäre nämlich der Raum CA (III. Fig. 20) mit Sand gefüllt, der durch die Wand

CA zurückgehalten werden ſollte, ſo muß dieſe Wand den Druck des Sandes, der abzuſchießen, ſich in einer ſchiefen Abdachung abzuflächen ſtrebt, zurückhalten, und die Frage, wie ſtark eine ſolche Mauer an Ufern, an Feſtungswällen u. ſ. w. ſeyn muß, mit welchen Befeſtigungsmitteln man ſie gegen das Umſtürzen ſichern muß, beruht auf Ueberlegungen, die denen ähnlich ſind, welche man über den Druck des Waſſers anſtellt.

Zwölfte Vorleſung.

Druck der Flüſſigkeiten auf eingetauchte feſte Körper.

Die Geſetze, welche wir neulich für den Druck der Flüſſigkeiten ableiteten, geſtatten eine unmittelbare Anwendung bei allen ganz oder theilweiſe eingetauchten feſten Körpern. Offenbar leidet der eingetauchte Körper, wenn er in ſeiner Stellung feſt gehalten wird, eben den Druck, welchen er leiden würde, wenn er ein Theil des Gefäßes wäre, und dieſer Druck iſt ein hinaufwärts gerichteter und in allen Fällen ſo groß, als das Gewicht der Waſſermaſſe, welche er aus der Stelle treibt. Iſt der Körper ganz eingetaucht, ſo drückt (III. Fig. 23) das über ihm befindliche Waſſer auf ſeine obere Seite niederwärts, am untern Theil hingegen wird er hinaufwärts gedrückt, und da zwei einander vertical gegenüberſtehende Stücke a b, c d der Oberfläche von Kräften gedrückt werden, die den Gewichten der Waſſerſäulen e f a b, e f c d gleich ſind, ſo iſt der Druck auf c d in Rückſicht auf ſeine verticale Wirkung genau um ſo viel überwiegend über den verticalen Druck auf a b, als das Gewicht einer den Raum a b c d füllenden Waſſerſäule angiebt. Wenn der Körper nicht ganz eingetaucht iſt (III. Fig. 24), ſo iſt allein der hebende Druck auf die untere Fläche vorhanden, der in jedem kleinen Theile g h dem Gewichte einer den Raum k l g h füllenden Waſſerſäule gleich iſt, im Ganzen alſo ſo viel beträgt, als das Gewicht des Waſſers, welches aus ſeiner Stelle gedrängt iſt, oder welches den Raum L M K H ausfüllen würde, wenn der feſte Körper dieß nicht hinderte. Der von den Seiten her auf den Körper wirkende Druck hebt ſich in allen Fällen genau auf, weil er auf je zwei gegenüberliegende Punkte derſelben horizontalen Schicht mit gleicher Stärke, aber in entgegengeſetzter Richtung wirkt.

Hiemit ſind alle Umſtände beſtimmt, von welchen es abhängt, ob ein feſter Körper ſich im Waſſer ſchwimmend erhalten oder unterſinken ſoll, und wie tief er ſich im erſten Falle eintaucht. Das Gewicht des feſten Körpers wirkt jener hebenden Kraft des Waſſers entgegen, daher bleibt der Körper an jeder Stelle im Waſſer in Ruhe, wenn beide Kräfte gleich ſind, d. h. wenn das Gewicht des Körpers genau ſo viel beträgt als das des Waſſers, das in ſeinem Raume Platz haben würde; dagegen ſinkt der Körper, wenn er ſchwerer iſt. Beträgt das Gewicht des ganzen Körpers weniger, als das Gewicht

desjenigen Waſſers, welches er, ganz untergetaucht, aus der Stelle treibt, ſo müſſen wir ihn mit einiger Gewalt unter Waſſer erhalten, ſo lange er ganz untergetaucht iſt; hat er ſich aber zum Theil über die Oberfläche des Waſſers erhoben, ſo ruhet er und dieß genau dann, wenn die jetzt noch aus der Stelle getriebene Waſſermaſſe genau ſo viel wiegt, als der ganze Körper. Die Kraft, mit welcher der leichtere Körper aufwärts ſtrebt, iſt immer gleich groß, er mag ſich in großer oder in geringer Tiefe befinden, und es iſt ein unrichtiges Vorurtheil, daß er durch den größern Druck einer höher über ihm ſtehenden Waſſermaſſe mehr hinabgedrückt werde; das iſt freilich der Fall, aber der heraufdrängende Druck iſt auch in eben dem Maaße größer.

Ehe ich zu den merkwürdigen Anwendungen übergehe, die man von dieſem Verluſte an Gewicht, welchen die feſten Körper im Waſſer leiden, machen kann, muß ich einen Verſuch angeben, welcher vollkommen deutlich die Größe dieſes Verluſtes an Gewicht zeigt. Man hängt an dem einen Arme einer Waage den ſoliden metallenen Würfel A B (III. Fig. 25) an einem Faden auf, und über ihm iſt das cubiſche Gefäß C D, deſſen innere Höhlung ganz genau durch jenen Würfel ausgefüllt wird, an eben den Waagebalken befeſtigt; am andern Arme der Waage bringt man das nöthige Gegengewicht an, damit die Waage im Gleichgewichte bleibe. Nun ſchraubt man das auf einem beweglichen Fuße unter A B ſtehende Gefäß mit Waſſer E F hinauf, ſo daß der Körper A B anfängt ſich einzutauchen, und ſogleich ſinkt die Waagſchale G, oder es zeigt ſich, daß der Körper A B beim Eintauchen etwas an Gewicht verliert. Um dieß auszugleichen, gießt man etwas Waſſer in das Gefäß C D, und fährt damit, indem das Gefäß E F weiter gehoben wird, ſo fort, wie es das Gleichgewicht fordert. Hat man an dem ſoliden Würfel Theilungslinien angebracht, um zu ſehen, wann ein Viertel, zwei Viertel, drei Viertel eingetaucht ſind, und zeigen eben ſolche Theilungslinien im Gefäße C D an, wie viel Waſſer man hat eingießen müſſen, um das Gleichgewicht zu erhalten, ſo findet man, daß immer das Gefäß grade ſo weit gefüllt iſt, als der Würfel ſich eingetaucht hat, und daß der hohle Würfel ganz angefüllt iſt, wenn der ſolide Würfel ganz eingetaucht iſt; — er hat alſo ſo viel an Gewicht verloren als die flüſſige Maſſe wiegt, deren Platz er einnimmt.

Da bei Körpern, welche ſich in einer Flüſſigkeit ſchwimmend erhalten, der ganze Körper ſo viel wiegt, als die aus der Stelle getriebene Flüſſigkeit, ſo ſinkt derſelbe Körper tiefer ein in einer nicht ſo ſchweren Flüſſigkeit. Holz kann im Weingeiſt unterſinken, wenn es gleich im Waſſer ſchwimmt, auf Queckſilber dagegen hält ſich ein ſo großer Theil des Holzes über der Oberfläche des Queckſilbers, daß jenes faſt wie auf einem feſten Boden darauf zu ſtehen ſcheint. Wiſſen wir, daß 10 Cubikfuß mit Waſſer ungefähr ſo viel wiegen als 11 Cubikfuß Eis, ſo ſchließen wir, daß ein 11 Fuß hohes Eisprisma ſich 10 Fuß tief einſenken und nur 1 Fuß hoch über dem Waſſer bleiben wird, und darauf gründen ſich die Berechnungen der ungeheuern Eismaſſen, die man oft in den Polarmeeren treibend antrifft. Parry ſah in dem

merkwürdigen Jahre 1817, wo die im Norden losgeriſſenen ungeheuern Eismaſſen bis nach Cuba, in die heiße Zone, gelangt ſeyn ſollen, einen 150 Fuß hohen Eisberg auf dem Meere ſchwimmen, und dieſe Eismaſſe mußte alſo unter dem Waſſer zehnmal ſo viel Raum ausfüllen, als über dem Waſſer. In den Polarmeeren kommen ähnliche Maſſen oft vor. Der menſchliche Körper iſt in der Regel, ſo lange er von der eingeathmeten Luft nichts von ſich läßt, etwas leichter oder höchſtens ebenſo ſchwer als Waſſer, und nach Robertſon's Beſtimmung giebt es Menſchen, die wenig über vier Fünftel des Waſſers, welches ſie aus der Stelle treiben, wiegen. Die meiſten Menſchen ſinken alſo nicht ganz unter, wenn ſie ſich ohne alle Anſtrengung den Einwirkungen der Schwere überlaſſen, aber ſorgfältig ſich hüten, ja kein Waſſer zu verſchlucken, und vielmehr durch Einathmen von Luft den Körper möglichſt ausdehnen; im Seewaſſer, welches etwas ſchwerer als ſüßes Waſſer iſt, bleibt ein noch größerer Theil des Körpers über dem Waſſer. Daß dennoch der Menſch ſich nur mit Mühe gegen das Ertrinken ſichert, rührt theils davon her, daß er nicht ganz im Stande iſt, das Eindringen des Waſſers durch Mund und Naſe, wenn dieſe einmal untergetaucht ſind, zu hindern, und daß Mangel an Geiſtesgegenwart ihn oft unfähig macht, das Einſchlucken von Waſſer, dem er widerſtehen könnte, zu wehren, theils iſt es Folge nachtheiliger Bemühungen, wozu Mangel an Ueberlegung und an richtiger Einſicht ihn antreibt. Wir ſtrecken gern unſre Arme nach Hülfe aus, und ſo glaubt auch der ins Waſſer Gefallene die Arme hervorſtrecken zu müſſen; aber da immer nur ein geringer Theil (bei den meiſten Menſchen lange kein Zehntel) des Körpers außer dem Waſſer bleiben kann, ſo ſinkt unfehlbar der Kopf ins Waſſer, wenn man die Arme herausſtreckt, und jedes Hervorheben eines andern Theiles vergrößert die Gefahr des Ertrinkens. Hierin liegt ein Grund, warum bei plötzlichen Ueberſchwemmungen zuweilen Kinder lebend ans Land geſchwemmt werden, während Erwachſene, die ſich zu helfen ſuchen, umkommen; jene nämlich ſchaden ſich wenigſtens nicht durch unrichtige, in der Angſt angewandte Rettungsmittel. Nicholſon erzählt, daß man einen ins Meer gefallenen Matroſen, der nicht ſchwimmen konnte, und dem man erſt nach einiger Zeit, nach Vorbereitung des Bootes, zu Hülfe kommen konnte, einzig dadurch gerettet habe, daß man ihm von Zeit zu Zeit mit dem Sprachrohre zurief, die Hände unter Waſſer zu halten. — Hierin alſo beſteht der Theil der Schwimmkunſt, welcher bloß das Schwimmend-Erhalten, das Vermeiden, daß der Körper durch eingeſchlucktes Waſſer ſchwerer als Waſſer werde, betrifft. Der zweite Theil der Schwimmkunſt, ſich durch angemeſſene Bewegungen theils im Waſſer fortzurudern, theils, indem man hinabwärts ſtößt, einen größern Theil des Körpers hervorzuheben, als ohne dieſe Anſtrengung ſtatt fände, gehört nicht eigentlich hieher, indeß läßt ſich doch überſehen, daß Bewegungen des Körpers, bei welchen man das Waſſer ſo trifft, wie das Ruder beim Fortrudern des Schiffes, den menſchlichen Körper nach der entgegengeſetzten Richtung, alſo ſelbſt auch aufwärts, zu bewegen dienen.

Ich brauche wohl kaum die beiden Mittel zu erwähnen, wodurch man auch Materien, die ſchwerer als Waſſer ſind, zum Schwimmen bringen kann. Das eine beſteht darin, daß man die Körper aushöhlt, und alſo ihr Gewicht vermindert, während der Druck des Waſſers derſelbe bleibt; das andre beſteht in der Verbindung eines leichteren Körpers mit dem ſchwereren, und hierauf beruht unter anderem der Nutzen der Schwimmgürtel und mit Luft gefüllten Blaſen, die man am Körper befeſtigt, um das Schwimmen zu erleichtern; es wird nämlich durch ſolche Blaſen das Geſammtgewicht des Schwimmenden nur unbedeutend vermehrt, da aber eine viel größere Waſſermenge verdrängt wird, ſo wird der Gegendruck des Waſſers bedeutend verſtärkt. Auf richtige Art angebracht dienen ſolche Mittel zugleich, grade den obern Theil des Körpers über Waſſer zu erhalten, während dieß ſonſt vom Zufall oder von der Geſchicklichkeit des Schwimmers abhängt.

Noch einige andre hieher gehörige Erfahrungen über den Gewichtsverluſt eingetauchter Körper verdienen eine kurze Erwähnung. Wenn ein Mann, der nur 150 Pfunde zu heben im Stande iſt, eine Granitmaſſe von 250 Pfunden, die im Waſſer liegt, heraufzuziehen verſucht, ſo wird er ſich dazu im Stande fühlen, weil dieſe Granitmaſſe im Waſſer ungefähr 100 Pfund an Gewicht verliert; aber ſobald ſie über die Oberfläche hervorgehoben wird, ſcheint ſie ſchwerer zu werden, und jeder Verſuch, ſie bedeutend aus dem Waſſer hervorzuheben, würde mißlingen. Eine andre Erfahrung betrifft die ungleiche Tiefe, zu welcher Schiffe ſich im Meerwaſſer und im ſüßen Waſſer einſenken. Es giebt Handelsgegenſtände, die man beim Ankommen nicht wohl abwägen kann, zum Beiſpiel Steinkohlen; — bei einer Ladung dieſer Art, wenn nämlich das ganze Schiff keine andre Befrachtung enthält, iſt es üblich, daß das Schiff bis auf ſeine Marke geladen wird, das heißt ſo, daß es bis an gewiſſe eingebrannte Merkmale im Waſſer eingeſenkt iſt, und nach dem ein für alle Mal ausgewognen Inhalte des Schiffes kennt man die Anzahl von Tonnen oder Laſten, die dazu erforderlich ſind. Iſt nun die Beladung auf ſüßem Waſſer geſchehen und hat der Schiffer ſeine Ladung in einem Seehafen, auf ſalzigem Waſſer, abzuliefern, ſo findet das Schiff ſich nicht mehr auf ſeine Marke geladen, weil das ſchwerere Seewaſſer nicht in ſo großer Menge, als das leichtere Flußwaſſer aus der Stelle getrieben zu werden braucht, um ebenſo viel als das Schiff mit ſeiner Ladung zu wiegen; — der Empfänger der Ladung muß alſo zu beurtheilen wiſſen, wie viel dieſer Unterſchied betragen darf.

Zu einem belehrenden, gleichfalls hieher gehörenden Experimente giebt die geringe Aenderung Anlaß, welche die Dichtigkeit des Waſſers bei veränderter Wärme leidet. Wenn man hohle, ringsum verſchloſſene Glaskörper ſo auswählt, daß ſie beinahe genau ebenſo ſchwer als Waſſer ſind, doch aber auf kaltem Waſſer ſich alle ſchwimmend erhalten, ſo ſieht man bei einiger Erwärmung des Waſſers zuerſt die, welche am wenigſten leicht ſind, hinabſinken, und nach und nach bei ſteigender Erwärmung einen dieſer Körper nach dem andern untergehen. Da ſie nämlich alle ſo gewählt ſind, daß ſie nur mit geringem

Uebergewichte des Druckes aus dem Waſſer hervorgehoben werden, ſo braucht das durch die Erwärmung ſich ausdehnende, leichter werdende Waſſer nur wenig wärmer zu werden, um ſchon nicht mehr den zum Tragen der Körperchen erforderlichen Gegendruck auszuüben. — Wenn man keine Körperchen beſitzt, die nahe genug die Dichtigkeit des Waſſers haben, um ſchon bei der Erwärmung unterzuſinken, ſo kann man durch Beimiſchung von Weingeiſt zum Waſſer ihr Unterſinken bewirken, doch dann gehört das Experiment mehr in die Lehre vom Aräometer.

Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichts.

Alle dieſe Erfahrungen und Verſuche beſtätigen unter den verſchiedenſten Umſtänden das Geſetz: daß der Gewichtsverluſt, den irgend ein feſter Körper beim Untertauchen in irgend eine Flüſſigkeit erfährt, genau ebenſo viel beträgt, als das Gewicht einer ihm an Rauminhalt gleichen Menge dieſer Flüſſigkeit; die wichtigſte Anwendung dieſes Geſetzes haben wir jedoch erſt noch im Folgenden zu machen, nämlich bei der Beſtimmung der Dichtigkeit oder des ſpecifiſchen Gewichts der Körper. Wir ſagen von einem Körper, er habe ein doppelt ſo großes ſpecifiſches Gewicht, als ein andrer Körper, wenn er bei gleichem Volumen, d. i. bei gleicher körperlicher Größe, ein doppelt ſo großes abſolutes Gewicht, als jener zweite, hat. Ein preußiſcher Cubikfuß reines Waſſer wiegt bei der Temperatur des ſchmelzenden Schnees 66,089 preußiſche Pfunde[1], ein Cubikfuß Queckſilber wiegt bei derſelben Temperatur 896,170 Pfunde; das letztere iſt alſo 13,56 mal, etwas mehr als $13\frac{1}{2}$ mal ſo ſchwer als Waſſer, und auf ähnliche Weiſe fände die Vergleichung in allen Fällen ſtatt. Man pflegt zur Vergleichung der ſpecifiſchen Gewichte immer das reine deſtillirte Waſſer zum Grunde zu legen, und dabei beſonders zu bemerken, für welche Wärme die Angaben eingerichtet ſind; wir wollen hier, wie es gewöhnlich geſchieht, immer die Gefrierkälte des Waſſers als diejenige anſehen, worauf ſich die Angaben beziehen, und alſo nur kurz ſagen, das ſpecifiſche Gewicht des gehämmerten Platins ſey = 21, 7, anſtatt umſtändlich anzugeben, daß das Platin $21\frac{7}{10}$ mal ſo ſchwer als Waſſer iſt.

Um dieſes ſpecifiſche Gewicht, deſſen genaue Kenntniß wir oft bedürfen, zu beſtimmen, ſind die Mittel verſchieden, je nachdem man es für feſte Körper, für flüſſige Körper, für Körper, die gepulvert ſind u. ſ. w. finden will. Feſte Körper kann man am beſten an einer feinen Waage abwägen und den Gewichtverluſt, den ſie in reinem Waſſer leiden, beſtimmen. Das Verfahren iſt ſehr einfach, fordert aber doch, um genau zu ſeyn, ſehr viele Vorſichtsregeln. Bei dem gewöhnlichen Abwägen in der Luft iſt außer der Sorgfalt, mit welcher ſelbſt kleine Gewichtstheile, Theile von Granen, angegeben werden müſſen, wenig zu bemerken; aber wenn man nun den Körper in das Waſſer eintaucht, ſo muß man die Temperatur des Waſſers und des Körpers genau

[1] Das preußiſche Gewicht iſt ſo regulirt, daß bei einer mittleren Temperatur von 15° R. ein Cubikfuß reines Waſſer genau 66 Pfunde wiegt.

kennen, man muß vollkommen reines Waſſer nehmen, man muß auf das ſorgfältigſte jedes Anhängen von Luftbläschen vermeiden, und endlich von dem möglichſt feinen Faden oder Haare, woran der Körper hängt, nur ſo viel, als grade nöthig iſt, mit in das Waſſer eintauchen und den Gewichtsverluſt dieſes Theiles in Rechnung bringen. Das Gewicht, um welches jetzt das vorhin erforderliche Gegengewicht vermindert werden muß, giebt an, wie viel ein dem Körper gleiches Volumen desjenigen Waſſers, deſſen man ſich bedient, wiegt, und da man durch genaue Verſuche die Ausdehnung des Waſſers bei ungleichen Wärmegraden kennt, ſo läßt ſich aus dem Gewichte des angewandten Waſſers leicht das Gewicht des auf 0° abgekühlten Waſſers, das eben den Raum einnähme, finden; das abſolute Gewicht des Körpers dividirt durch das Gewicht eines gleichen Volumens Waſſer von 0° giebt dann das ſpecifiſche Gewicht. Das Anhängen von Luftbläschen muß man verhüten, denn da auch ſie Waſſer aus der Stelle treiben würden, ſo erhielte man eine größere Verminderung des Gewichtes, als man eigentlich erhalten ſollte.

Wenn der feſte Körper, den man abwägen will, leichter als Waſſer iſt, ſo verbindet man ihn mit einem ſchwerern, damit er ſich ganz eintauche. Man könnte ſtatt des vorhin betrachteten Körpers an der Waage ein Eimerchen von Glas oder Metall aufhängen und nun nicht bloß das Gewicht dieſes Gefäßes, ſondern auch ſeinen Gewichtsverluſt im Waſſer beſtimmen; wird dann ein Stück Kork oder ein andrer leichter Körper in das Eimerchen gelegt und darin, etwa durch einen durchlöcherten Deckel des Eimers, feſtgehalten, ſo findet man das Gewicht des in der Luft und des im Waſſer abgewogenen Korkes. Um ein Beiſpiel zu geben, wiege das Gefäßchen von Glas, deſſen Drathdeckel den hineingelegten Körper feſthält, in der Luft 350 Gran, im Waſſer 250 Gran; man lege ein Stück Kork hinein, das 50 Gran wiegt, ſo daß das Eimerchen mit dem Korke trocken in der Luft ein Gewicht von 400 Gran hat, ſo wird man das mit dem Kork in Waſſer eingetauchte Gefäß nur etwa 100 Gran wiegend finden und ſagen, von den 300 Granen Gewichtsverluſt kommen 100 auf das Gefäß, alſo 200 auf das Stück Kork, oder das vom Kork aus der Stelle getriebene Waſſer iſt 200 Gran ſchwer, 4mal ſo ſchwer als das Korkſtück, deſſen ſpecifiſches Gewicht man alſo auf 0,25 oder auf ¼ ſetzen würde.

Eben dieſes Verfahren dient nun auch, das abſolute Gewicht eines Cubikzolles eines flüſſigen Körpers zu finden. Es iſt zwar offenbar, daß man dieſes auch dadurch, daß man ein ſeinem innern Raume nach genau ausgemeſſenes Gefäß mit dem Flüſſigen füllt, finden könnte, indem die Abwägung dann unmittelbar das ergäbe, was man zu finden verlangt; aber es iſt bei Waſſer und bei allen flüſſigen Materien gar nicht leicht, ein Gefäß ſo damit zu füllen, daß dieſe Materie im ſtrengſten Sinne bis an den Rand reiche, indem ſie leicht geneigt iſt, eine gewölbte oder eine hohle Oberfläche zu bilden. Man bedient ſich daher lieber eines mit großer Sorgfalt aus Metall gearbeiteten ſoliden Cubikzolles, den man in der Luft und dann im Waſſer abwiegt; das

Gewicht, welches er im Waſſer verliert, zeigt genau an, wie viel Grane und Theile von Granen ein Cubikzoll Waſſer mehr wiegt, als ein Cubikzoll Luft. Ich brauche wohl nicht umſtändlich zu zeigen, daß der in Luft eingetauchte, von Luft umgebene Körper etwas weniger wiegt, als er im luftleeren Raume wiegen würde, — der Druck der Luft bringt ebenſo, wie der Druck des Waſſers einen, wenn gleich wegen der geringen Dichtigkeit der Luft nur kleinen Gewichtsverluſt hervor, und auf dieſen ſollten wir immer Rückſicht nehmen, wenn wir das Gewicht eines Körpers genau angeben wollen. Wenn wir aber auf dieſe Weiſe das Gewicht eines Cubikzolles Waſſer ganz genau beſtimmen wollen, ſo müſſen wir nicht vergeſſen, daß jener Cubikzoll nicht bei jeder Wärme ein genauer Cubikzoll bleibt, ſondern bei ſteigender Erwärmung etwas größer wird; wir dürfen auch nicht vergeſſen, daß das Gewicht eines Cubikzolles Waſſer nicht immer gleich iſt, ſondern daß die Dichtigkeit des Waſſers ſich vom Gefrierpunkte bis in die Nähe des Siedepunktes um mehr als $^1/_{25}$ ändert, und daher ein preußiſcher Cubikzoll Waſſer bei 0° Wärme 293,73 Gran, bei der Kochhitze nur noch 281,89 Gran wiegt. [1]

Da es hier nicht meine Abſicht ſeyn kann, Ihnen Anleitung zu genauen Verſuchen zu geben, ſo wird die eben gegebne Andeutung deſſen, was zu ſo genauen Verſuchen erforderlich wäre, wohl mehr als zureichend ſeyn, und ich füge über das durch Abwägung zu beſtimmende Gewicht andrer flüſſiger Körper nur noch hinzu, daß man aus dem Gewichtsverluſte in Weingeiſt, in Oel, in Schwefelſäure die ſpecifiſchen Gewichte dieſer Körper in Vergleichung gegen das des Waſſers kennen lernen kann. Der in ſo verſchiedenen Flüſſigkeiten abzuwägende Körper muß freilich von allen dieſen Flüſſigkeiten nicht angegriffen werden. Um das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers zu finden, iſt es am beſten, es in das oben erwähnte Eimerchen zu thun und im Waſſer abgewogen ſo wie einen feſten Körper zu behandeln.

Aräometer.

Eine zweite Art, das ſpecifiſche Gewicht feſter ſowohl als flüſſiger Körper zu beſtimmen, geben uns die Aräometer oder Senkwaagen. Schwimmende Körper tauchen ſich, wie ich ſchon erwähnt habe, in einer leichtern Flüſſigkeit tiefer ein, und wenn man dem ſchwimmenden Körper eine ſolche Geſtalt, wie A B C (III. Fig. 26) giebt, und ihn durch eine in der untern Kugel angebrachte Queckſilbermaſſe zum Aufrechtſchwimmen nöthigt, ſo iſt dieſe Verſchiedenheit des eingetauchten Volumens an dem dünnen Halſe des Körpers, der nun ein Aräometer heißt, ſehr merklich. Wenn man zum Beiſpiel den Theil A 400 Cubiklinien groß machte und der cylindriſche Theil B C hätte eine Quadratlinie im Querſchnitt, ſo würde der Körper ſich um 4 Linien tiefer eintauchen, wenn man ihn in eine um nur ein Hunderttel weniger dichte Flüſſigkeit brächte. So ſind dieſe Aräometer ſelbſt dem oberflächlichen Beobachter brauchbar, der mit einem ſchnellen Blicke ſehen will, ob der Weingeiſt, welchen er eben vor

[1] Nach Hällſtröm's Verſuchen über die Ausdehnung des Waſſers.

ſich hat, mehr oder weniger Waſſer enthalte, ob die Salzſoole mehr oder weniger mit Salz geſättigt ſey u. ſ. w. Aber auch zu den genaueſten Verſuchen ſind die Aräometer tauglich.

Obgleich die Aräometer auf ſehr mannigfaltige Art eingerichtet ſind, ſo beſteht doch ihre Hauptverſchiedenheit nur darin, daß ſie entweder ganz unverändert in jede gegebene Flüſſigkeit eingetaucht werden, wo ſie ſich dann bis zu ungleichen Tiefen einſenken, oder daß ſie bald mit mehr bald mit weniger aufgelegten Gewichten beſchwert und dadurch in jeder Flüſſigkeit bis zu gleicher Tiefe eingeſenkt werden. Die erſte Art von Aräometern gewährt die Annehmlichkeit, an der an B C angebrachten Scale ſogleich das zu leſen, was man zu wiſſen verlangt, und zerfällt wieder in vier Claſſen, von denen die eine an dem Punkte des Halſes, bis zu welchem das Inſtrument einſinkt, ſogleich das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeit angiebt. Die Scale, die meiſtens auf einem Papierſtreifen im Innern des Glaskörpers aufgetragen iſt, kann am leichteſten durch einige Verſuche mit Flüſſigkeiten von ſchon bekanntem Gewichte beſtimmt werden, und da ſolche Aräometer einen unförmlich langen Hals erhalten müßten, wenn ſie geringe Verſchiedenheiten des Gewichtes anzeigen und doch für leichte und ſchwere Flüſſigkeiten zugleich brauchbar ſeyn ſollten, ſo pflegt man mehrere zuſammengehörige zu verfertigen, ſo daß bei dem erſten derſelben die Kugel A mit etwas mehr Gewicht, mit Queckſilber oder mit Bleikügelchen, belaſtet iſt, damit es in den ſchwerſten Flüſſigkeiten, zum Beiſpiel in Schwefelſäure, die beinahe doppelt ſo ſchwer, als Waſſer iſt, nur etwa bis B einſinke; das letzte dagegen müßte mit ſo wenig Gewicht belaſtet ſeyn, daß es ſelbſt im ſtärkſten Schwefeläther, der kaum drei Viertel von der ſpecifiſchen Schwere des Waſſers hat, nicht ganz unterſinke. Wird das erſte in ſehr concentrirte Schwefelſäure getaucht, ſo ſchwimmt es hoch, nur bis D eingetaucht; in einer Flüſſigkeit, die anderthalbmal ſo ſchwer als Waſſer iſt, ſinkt es faſt ganz unter, und weiter erſtreckt ſich ſeine Brauchbarkeit nicht. Das zweite dagegen iſt ſo belaſtet, daß es in eben dieſer Flüſſigkeit etwa bis B ſinkt, und alſo da brauchbar zu werden anfängt, wo jenes aufhörte. Die zweite Claſſe dieſer Scalenaräometer giebt das Volumen des in der Flüſſigkeit untergetauchten Theiles des Aräometers an, woraus man, da das Gewicht des Aräometers ſelbſt bekannt iſt, das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeit leicht berechnen kann. Die dritte Claſſe wird nach einer willkührlich angenommenen Norm graduirt, daher muß man, wenn man ſich eines ſolchen Aräometers bedient, den Namen des Urhebers der Gradeintheilung mit angeben, weil dadurch erſt die Angabe ſelbſt mit denen anderer Aräometer vergleichbar wird. Die vierte Claſſe endlich umfaßt alle Senkwaagen, die für beſondere Flüſſigkeiten, z. B. Spiritus, Salzſoole u. ſ. w. beſtimmt ſind, und auf deren, durch Verſuche ermittelter, Eintheilung man das Miſchungsverhältniß der Flüſſigkeit ablieſt, alſo z. B. beſtimmt, wie viel Theile Waſſer und wie viel Theile reinen Weingeiſt der angewandte Spiritus enthält. Man muß bei dem Gebrauche aller dieſer Aräometer nicht vergeſſen, darauf zu achten, für welchen Wärmegrad der Künſtler ſie eingerichtet

hat, und da das gewöhnlich ein mittlerer Wärmegrad, etwa 10 Gr. Reaum., zu ſeyn pflegt, ſo iſt es am beſten, die flüſſigen Körper, die man prüfen will, ſo wie das Aräometer ſelbſt ungefähr bis zu dieſem Wärmegrade zu bringen, damit man nicht erſt einer Correction bedürfe; bei recht genauen Verſuchen wird man jedoch dieſe Correction dennoch nicht ganz vermeiden können.

Wenn es auf ſehr genaue Verſuche ankömmt, ſo ſind dieſe Aräometer deswegen nicht zu empfehlen, weil theils nicht mit abſoluter Sicherheit auf die ſtrenge Richtigkeit ihrer Scale zu bauen iſt, theils immer eine kleine Unſicherheit über die Tiefe der Einſenkung bleibt, indem Waſſer und andere Flüſſigkeiten ſich am Glaſe hinaufziehen und uns nicht geſtatten, den eigentlichen Punkt, bis zu welchem der Körper eingeſunken iſt, als ganz ſtreng beſtimmt anzuſehen. Die mit Gewichten beſchwerten Senkwaagen dagegen ſind eines ſehr hohen Grades von Genauigkeit fähig.

Von dieſen Aräometern mit Gewichten will ich nur das Nicholſon'ſche beſchreiben, da das Princip bei allen daſſelbe iſt. A B (III. Fig. 27) iſt ein hohler Körper von Meſſing, mit welchem das hinreichend ſchwere Gefäß C ſo verbunden iſt, daß der cylindriſche Theil des Körpers A B ſich im Schwimmen genau vertical hält. Auf jenem Körper befindet ſich, mit der verlängerten Axe des Cylinders zuſammenfallend, ein ſehr dünner grader Stift b c, ſtark genug, um die immer nur mäßigen Belaſtungen, die man auf die Schale E legt, zu tragen. Man kann dieſes Aräometer erſtlich brauchen, um das abſolute Gewicht irgend eines nicht zu ſchweren Körpers zu finden, wenn man keine hinreichend genaue Waage beſitzt, man kann zweitens das ſpecifiſche Gewicht feſter Körper, und endlich auch drittens das ſpecifiſche Gewicht flüſſiger Körper durch ſeine Hülfe beſtimmen.

Das Gewicht aller eben beſchriebenen Theile des Aräometers iſt ſo gewählt, daß der Körper A B in Waſſer ſchwimmend noch ziemlich weit über dem Waſſer hervorragt, damit man ein erhebliches Gewicht zulegen müſſe, um das Aräometer bis an das auf dem feinen Stifte aufgezeichnete Merkmal a einzuſenken. Ich will annehmen, dieß wären 1600 Gran, ſo wird man, um einen Körper genau abzuwägen, dieſen auf die Schale E legen und ſo viele Gewichte zulegen, als noch nöthig ſind, um das Einſenken bis an a zu bewirken. Fände man dieſe noch nöthige Zulage = 629,27 Gran, ſo wöge der aufgelegte Körper 970,73 Gran. Man darf aber in der That hoffen, dieſes Gewicht bis auf kleine Theile eines Granes richtig zu beſtimmen; denn da der Stift nur etwa 1/4 Linie dick, ſein Querſchnitt nur ungefähr 1/20 Quadratlinie iſt, ſo ſenkt er ſich um 1/4 Linie ein, wenn das Gewicht von 1/80 Cubiklinie Waſſer zugelegt wird, und dieſes Gewicht beträgt nur drittehalb Tauſendtel eines Granes.

Mit gleicher Genauigkeit findet man das ſpecifiſche Gewicht eines feſten Körpers, wenn er nur im Waſſer nicht aufgelöſt wird oder ſonſt eine Aenderung leidet. Nachdem man ihn nämlich auf der Schale E liegend abgewogen hat, bringt man ihn in das untere Gefäß C und ſieht nun, wie viele Gewichtstheile man oben noch zulegen muß. Bleibe ich bei meinem vorigen

Beiſpiele, wo oben 629,27 Gran zugelegt waren, ſo wird, wenn man den Körper unten hinlegt, dieſes Gewicht nicht mehr zureichen, weil er im Waſſer ſo viel weniger wiegt, als er Waſſer aus der Stelle treibt; man legt alſo Gewichte nach, und wenn zum Beiſpiel 80,89 Gran nöthig ſind, ſo ſagt man, der Körper wog 970,73, ebenſo viel Waſſer dem Volumen nach wiegt 80,89, und da dieß genau der zwölfte Theil von jenem iſt, ſo hat der Körper ein zwölfmal ſo großes ſpecifiſches Gewicht als das Waſſer, deſſen wir uns eben bedienen. Iſt dieſes Waſſer wärmer, als dasjenige, auf deſſen Dichtigkeit unſre Tafeln alle ſpecifiſchen Gewichte zu beziehen pflegen, ſo bedarf dieſe Angabe einer kleinen Verbeſſerung, ſo wie es denn überhaupt erhellt, daß man auch hier auf die Wärme des Waſſers und des eingetauchten Körpers auf das ſorgfältigſte Rückſicht nehmen muß, wenn die Angaben auf die erforderliche und hier zu erreichende Genauigkeit ſollen Anſpruch machen können.

Um endlich das ſpecifiſche Gewicht andrer flüſſiger Körper mit dem des Waſſers zu vergleichen, kann man folgendes Verfahren anwenden. Man wäget den ganzen Körper des Aräometers mit dem Gefäße C und den Schälchen E ſehr ſorgfältig ab, und wenn er z. B. 3400 Gran wiegt, ſo weiß man damit, wie viel das Waſſer wiegt, welches bei der Einſenkung bis an a aus der Stelle getrieben wird; dieſes wiegt nämlich ſo viel, als dieſer ganze Körper und in unſerm Exempel noch 1600 Grane mehr, die zugelegt werden müſſen, um die ganze Einſenkung hervorzubringen, alſo 5000 Gran. Bringen wir hierauf das Inſtrument in Weingeiſt, ſo bedarf es eines geringern Gewichtes, um bis zu dem Punkte a hinabgedrückt zu werden, z. B. eines Gewichtes von 600 Gran. Da nun in beiden Verſuchen gleich große Mengen von Waſſer und Weingeiſt verdrängt wurden, von denen die erſte 5000 Gran, die andre 4000 Gran wog, ſo iſt das ſpecifiſche Gewicht dieſes Weingeiſtes = $^{4000}/_{5000}$ = $^{4}/_{5}$.

So vollkommen aber die Beſtimmungen auch ſind, die man auf dieſem Wege erhalten kann, ſo bleiben doch einige Fälle übrig, die große Schwierigkeiten darbieten. Dahin gehören die, wo pulverartige Körper, die in Flüſſigkeiten entweder aufgelöſt werden, oder ſich zum Theil zerſtreuen, oder ſonſt auf irgend eine Weiſe ſich mit ihnen miſchen, zu unterſuchen ſind. Für dieſe hat Leslie ein Inſtrument zu Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes angegeben, deſſen Einrichtung ich aber erſt da werde erklären können, wo vom Barometer und der Elaſticität der Luft die Rede ſeyn wird. Ich gehe daher jetzt zu dem letzten Gegenſtande der Hydroſtatik über, zu der Frage, in welcher Stellung ein Körper ſich ſchwimmend erhält, und was man beachten muß, um ihm ein ſicheres Gleichgewicht zu geben.

Gleichgewichtsſtellung ſchwimmender Körper.

Obgleich jeder Körper, der ſpecifiſch leichter iſt, als Waſſer, ſich gewiß, ohne unterzuſinken, auf der Oberfläche des Waſſers erhält, ſo kann er doch offenbar nur dann die ihm gegebne Stellung behalten, wenn erſtlich ein ſolcher Theil eingetaucht iſt, der ebenſo viel Waſſer, als der Körper wiegt, aus der

Stelle treibt, und wenn zweitens die beiden Kräfte, die an dem Körper wirken, nämlich die Schwerkraft und der Gegendruck des Waſſers, einander der Richtung nach genau entgegengeſetzt ſind, weil, wie wir früher geſehen haben, zwei Kräfte ſich an einem Körper nur dann das Gleichgewicht halten können, wenn ſie gleich ſtark und in grade entgegengeſetzter Richtung wirken. Wäre **A B C D** (**III. Fig. 28**) ein Prisma von Kork, das etwa zu einem Viertel ſeines Inhalts ſich im Waſſer einſenken wird, ſo kann es doch offenbar nicht in der Stellung **A B C D** ruhen, weil die beiden einander entgegenwirkenden Kräfte als in **G** und **H** angebracht gedacht werden können und alſo neben einander vorbei wirkend eine Drehung hervorbringen. Das Gewicht des Körpers nämlich kann als eine im Schwerpunkte **G** angebrachte Kraft angeſehen werden, während die Mittelkraft des Waſſerdruckes ſtets durch den Schwerpunkt **H** des untergetauchten Theiles oder der verdrängten Waſſermaſſe hindurchgeht. Bei allen Drehungen nun, die der Körper annimmt, behält **G** in ihm dieſelbe Lage, **H** ändert ſich jedoch fortwährend, weil die Geſtalt der verdrängten Waſſermaſſe ſich ändert, daher muß endlich eine ſolche Lage erreicht werden, bei welcher die beiden Schwerpunkte **G** und **H** in einer lothrechten Linie liegen, und in dieſer findet Gleichgewicht ſtatt. Das Gleichgewicht iſt ſtabil oder nicht ſtabil, je nachdem bei kleinen Schwankungen der Körper immer in ſeine alte Lage zurückkehrt, oder ganz in eine neue Gleichgewichtsſtellung umfällt, und der erſte Fall tritt beſonders dann ein, wenn der Schwerpunkt des Körpers tiefer liegt als der der verdrängten Waſſermaſſe, z. B. bei den eben erwähnten Aräometern, bei welchen aus dieſem Grunde der Schwerpunkt durch das unten angebrachte Queckſilber herabgerückt wird. Da aber dieſer Fall nur bei ſolchen ſchwimmenden Körpern möglich iſt, die aus ungleich dichten Theilen beſtehen oder hohl ſind, ſo iſt wohl zu bemerken, daß ſtabiles Gleichgewicht auch dann eintritt, wenn zwar der Schwerpunkt des Körpers höher liegt als der der verdrängten Waſſermaſſe, wenn aber bei einer anfangenden Schwankung beide Schwerpunkte nach derſelben Seite hin fortrücken und zwar der der verdrängten Waſſermaſſe am weiteſten. Bei einem ſchwimmenden Stabe oder Balken würde ein nicht ſtabiles Gleichgewicht bei lothrechter Stellung, ſtabiles Gleichgewicht aber dann eintreten, wenn er flach auf dem Waſſer läge, obgleich in beiden Fällen der Schwerpunkt des Körpers liegt. Die für die Schifffahrt wichtige Ueberlegung, daß ſelbſt bei ſehr hoher Lage des Schwerpunktes immer noch ein ziemlich ſicheres Schwimmen bei übrigens zweckmäßiger Geſtalt des ſchwimmenden Körpers ſtatt finden kann, läßt ſich wohl am beſten an folgendem Beiſpiele erläutern. Es ſey **A B C D** (**III. Fig. 29**) eine Korktafel, auf welcher ſich ein hoher Körper **E F** von ſchwerer Materie befindet. Der Schwerpunkt des Korkes liegt in **H**, der Schwerpunkt des mit der Tafel verbundenen Körpers in **G**, und wenn der letztere ebenſo viel wiegt, als jene, ſo wird der Kork, der für ſich allein nur bis zu einem Viertel ſeiner Dicke in das Waſſer einſinken würde, ſich bis zur Hälfte ſeiner Dicke einſenken. In der Stellung **A B C D** würde der aus beiden Maſſen zuſammengeſetzte Körper auf der

Waſſerfläche PQ ruhen und der Schwerpunkt des Ganzen läge in I, mitten zwiſchen G und H. Geben wir nun dem ganzen Körper die geneigte Stellung, welche abdcEf darſtellt, ſo taucht ſich wieder die Hälfte der Korktafel bcd in das Waſſer ein; aber der Schwerpunkt dieſer dreieckigen, aus der Stelle getriebenen Waſſermaſſe liegt nicht mehr mitten in der Tafel, ſondern in K, nämlich ſo daß KD = ⅓ BD iſt, und der Schwerpunkt der Maſſe Ef iſt nach g gerückt, ſo daß der gemeinſchaftliche Schwerpunkt der ganzen Maſſe in L liegt, mitten zwiſchen g und H. Hier ſtrebt allerdings der Schwerpunkt L zu ſinken; es wirkt aber der Druck des Waſſers in der Richtung KM entgegen, und beide Kräfte wirken vereint dahin, den Körper zu ſeiner anfänglichen Lage zurückzuführen, hier war alſo die anfängliche Gleichgewichtsſtellung eine Stellung ſicheren Gleichgewichtes, die ſich nach einigen Oſcillationen wieder herſtellt.

Die Geſtalt des Körpers und die ungleiche Vertheilung der Maſſe könnte ſo ſeyn, daß auch in der zweiten Lage der Schwerpunkt L der ganzen Maſſe grade ſenkrecht über K, als dem Schwerpunkt der Waſſermaſſe, läge; dann würde der Körper in der neuen Lage in Ruhe bleiben. Aber endlich könnte auch, etwa dadurch, daß man den Körper EF auf einer hohen und wenig ſchweren Unterlage hinauf gerückt hätte, der Schwerpunkt L jenſeits K liegen; dann würde der Körper ſich in der neuen Lage nicht erhalten, ſondern völlig umſtürzen. Die Sicherheit des Gleichgewichts findet alſo bei nicht zu großen Schwankungen dann ſtatt, wenn der Schwerpunkt des ganzen Körpers weniger als der Schwerpunkt des eingetauchten Theiles nach der Seite hin rückt, wo die tiefere Eintauchung erfolgt.

Dieſe Betrachtung zeigt genauer, als eine bloß oberflächliche Ueberlegung, warum man einen gewiſſen Theil der Belaſtung der Schiffe tief gegen den unterſten Theil des Bodens hin bringen muß, und warum dieß um ſo mehr nöthig wird, je größer die durch Maſten und Tauwerk hoch hinauf gerückte Maſſe wird. Indeß würden wir bei den Schiffen ſehr irren, wenn wir uns begnügen wollten, ihnen ein für ruhiges Wetter ſicheres Gleichgewicht zu geben; der ſelbſt auf Maſten und Tauwerk, noch mehr aber auf die Segel heftig ſtoßende Wind, der bei der Höhe der Maſten ein großes ſtatiſches Moment hat, drängt das ſich ſeitwärts neigende Schiff noch tiefer, und kömmt als eine horizontal wirkende, das Umwerfen des Schiffes befördernde Kraft in Betrachtung. Damit dieſe Kraft bei Stürmen minder groß ſey, verkleinern die Schiffer dann ihre Segel durch das Einreffen oder Einbinden, und ziehen ſie nur am untern Theile des Maſtes hinauf; dagegen kann ein unvermutheter Windſtoß theils deswegen, weil er die Segel am Maſte zu hoch hinauf gezogen trifft, theils weil man in der Richtung des Schiffes nicht die nöthige Rückſicht auf ihn genommen hat, zu hindern, daß er es zu ſehr von. der Seite treffe, doppelt gefährlich werden. Dagegen aber zeigt auch die Betrachtung der vorhin als Beiſpiel gebrauchten Korktafel, daß eine bedeutend ſchiefe Stellung des Schiffes ohne Gefahr ſtatt finden kann,

indem die Seite C ſich ſchon ſehr tief ins Waſſer eintauchen kann, ohne daß noch die mindeſte Gefahr des Umſchlagens vorhanden iſt.

Die Frage, in welchen verſchiedenen Lagen ein Körper auf dem Waſſer ruhen kann, wie groß die Oſcillationen, in welche man ihn ſetzt, ſeyn dürfen, um ihn noch immer zu ſeiner vorigen Lage zurückkehren zu laſſen, u. ſ. w. gehören zu den ziemlich ſchwierigen Fragen, machen aber einen Hauptgegenſtand der theoretiſchen Schiffbaukunſt aus. Die Form des Schiffes, die Lage und Höhe der Maſten und andre Umſtände werden zum Theil hienach beſtimmt, und obgleich die Erfahrung über manche Einzelheiten zu Rathe gezogen werden muß, ſo verdankt doch die Schiffbaukunſt auch den tiefſinnigen theoretiſchen Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand einen bedeutenden Theil ihrer Vervollkommnung.

Dreizehnte Vorleſung.

Ausfluß des Waſſers aus kleinen Oeffnungen.

Indem ich im Begriff bin, zu den Erſcheinungen überzugehen, welche die Bewegungen der tropfbar flüſſigen Körper uns darbieten, fühle ich mich zwar genöthigt, mit der Klage, daß unſre theoretiſchen Forſchungen hier noch lange nicht den Grad der Vollkommenheit, wie bei den bisher erläuterten Unterſuchungen, erlangt haben, anzufangen; indeß, wenn es uns gleich an ſo ſtrengen Berechnungsmethoden, wie die Mechanik feſter Körper ſie liefert, fehlt, wenn wir gleich in der Theorie der Wellen und bei ähnlichen Erſcheinungen über viele einzelne Umſtände noch tiefere Belehrung fordern, als unſre jetzigen Hülfsmittel ſie uns darbieten, ſo iſt doch auch hier ſchon ſo vieles mit Glück erforſcht, daß Sie ſelbſt hier Gelegenheit finden werden, mit dem Reichthume an merkwürdigen Belehrungen zufrieden zu ſeyn.

Das Hervordringen des Waſſers aus Oeffnungen, die klein genug ſind, um kein ſchnelles Ausleeren des Gefäßes zu geſtatten, zieht als eines der einfachſten Phänomene zuerſt unſre Aufmerkſamkeit auf ſich. Wenn die Oeffnung ſich (**III. Fig. 30**) in einer horizontalen Platte A B aufwärts gerichtet befindet, ſo zeigt die Erfahrung, daß der ſpringende Waſſerſtrahl bis zu der Höhe ſteigt, die der drückenden Waſſerſäule gleich iſt. Dieſe Höhe wird zwar nie ganz erreicht, aber offenbar nur deswegen nicht, weil der Widerſtand der Luft, der bei dem geringen ſpecifiſchen Gewichte des Waſſers und bei der Zertrennung des Strahles in Tropfen ſehr erheblich iſt, ferner das Zurückfallen der Tropfen ſelbſt und die Reibung in der Oeffnung den Erfolg nicht ganz ſo ſtatt finden laſſen, wie er ohne Einwirkung dieſer Hinderniſſe ſeyn ſollte. Dieſe Erfahrung giebt uns die Geſchwindigkeit an, mit welcher das Waſſer aus der Oeffnung hervordringt; denn wir wiſſen, daß ein Körper, um aufwärts geworfen eine gewiſſe Höhe zu erreichen, mit eben der Geſchwindigkeit geworfen werden muß, die er bei ebenſo tiefem freiem Falle erreicht hätte. Das Waſſer dringt alſo

aus einer Oeffnung mit derjenigen Geſchwindigkeit, die ein Körper frei fallend erlangt, wenn er von einer Höhe, der Höhe der drückenden Waſſermaſſe gleich, herabfällt. Dieſe Regel, die auch bei jeder andern Richtung des hervorbringenden Waſſerſtrahls gilt, läßt ſich leicht auch da anwenden, wo es nicht eine Waſſermaſſe allein, ſondern wo es ein fremder Druck iſt, der das Waſſer zum Springen bringt. Wenn wir fordern, daß unſre Feuerſpritzen das Waſſer 80 Fuß hoch treiben ſollen, ſo müſſen wir einen Druck, der 80 Fuß Waſſerhöhe gleich gilt, anwenden, um dieß zu bewirken, und noch etwas mehr, wegen der Verminderung der Sprunghöhe, die ich ſchon bemerkt habe; dieſen Druck laſſen wir auf die Waſſeroberfläche in dem weiteren Cylinder der Feuerſpritze wirken, und wenn dieſer alſo einen halben Quadratfuß Querſchnitt hätte, ſo muß der Druck der an der Spritze arbeitenden Menſchen den Druck von 40 Cubikfuß Waſſer erſetzen oder, durch einen längern Hebelarm gehörig verſtärkt, 2640 Pfund betragen. Damit der Strahl jene Höhe erreiche, muß er mit einer Geſchwindigkeit von beinahe 70 Fuß in 1 Secunde aus der Mündung der Röhre hervordringen, und man kann daher der Röhre nur einen Querſchnitt von einem halben Quadratzoll geben, wenn der fortgedrückte Kolben in der weiten Röhre einen halben Fuß in der Secunde durchläuft, denn die hervorgetriebne Waſſermaſſe muß derjenigen gleich ſeyn, die der fortgeſchobne Kolben aus der Stelle treibt. So überſehen Sie, wie man über die Anordnung der Feuerſpritze rechnen muß, um theils die Höhe des Strahles, theils den Waſſeraufwand ſo zu erhalten, wie es die gegebenen Umſtände fordern, und ganz nach denſelben Grundſätzen iſt auch die Einrichtung der Springbrunnen zu beurtheilen.

Arteſiſche Brunnen.

Die natürlichen Springbrunnen hängen oft gewiß von andern Umſtänden, vom Drucke einer eingeſchloſſenen Luft oder entwickelter Dämpfe ab; bei den gewöhnlichen Brunnen und den meiſten aus der Erde hervorſprudelnden Quellen ſind wir dagegen gewohnt, anzunehmen, daß ſie bloß dem Drucke eines höher ſtehenden Waſſers ihren Urſprung verdanken. Daß dieß bei den am Fuße oder Abhange eines Berges entſpringenden Quellen der Fall iſt, daß zu ihnen hin die durch Regen und durch die auf den Gipfeln der Berge liegenden Wolken dem Boden mitgetheilten Waſſer ſich fortziehen, leidet keinen Zweifel, und man hat daher mit Recht die ehemals zuweilen vertheidigte Theorie, daß das Waſſer im Innern der Erde heraufgetrieben werde, aufgegeben, oder vielmehr anerkannt, daß ſie nur als ſeltene Ausnahme, vorzüglich bei heißen Quellen, ſtatt findet. Auch die gebohrten Brunnen, die den Namen arteſiſche Brunnen von der Provinz Artois erhalten haben, ſind dieſer Erklärung unterzuordnen. Wenn man nämlich mit dem Erd- und Steinbohrer die Steinſchichten bis zu erheblicher Tiefe durchbricht, dabei aber zugleich das gebohrte Loch mit einer immer tiefer geſenkten Röhre umgiebt, um den Zudrang der höhern, unreinen Gewäſſer abzuhalten, ſo kömmt man ſehr oft in Tiefen von 100 Fuß oder

200, 300 und noch mehr Fuß [1] auf eine ſo mächtige Quelle, daß ſich nicht allein das ganze gebohrte Loch bis oben mit Waſſer füllt, ſondern zuweilen ſogar das Waſſer mit großer Gewalt über dem Boden hervorſpringt. Da es ſehr ausgedehnte Gegenden, namentlich in Frankreich, England, Oberitalien giebt, wo man bei gehörig tiefem Bohren faſt ſicher endlich auf ſolche Quellen kömmt, ſo waren einige Schriftſteller ſchon nahe daran, zu behaupten, daß jeder waſſerarmen Gegend durch dieſes Mittel Brunnen verſchafft werden könnten, und daß dieſes Hervorheben des Waſſers auf andern Geſetzen, als denen des bloß durch Druck bewirkten Ausfließens, beruhen müſſe; jedoch beweiſen die mehrmals im Waſſer arteſiſcher Brunnen gefundenen lebendigen Fiſche und Pflanzenſamen, daß daſſelbe von der Oberfläche der Erde herſtammt, wie das Waſſer der Quellen im Allgemeinen, und eine genaue Prüfung der Umſtände zeigt, daß doch auch dieſe Brunnen nur in der Nachbarſchaft eines höheren Terrains die Eigenſchaft, ſich bis oben und bis über die Höhe des Bodens zu füllen, beſitzen, ferner daß nur da das Brunnenbohren den gewünſchten Erfolg zeigt, wo eine von Klüften und offenen Höhlungen unterbrochene Gebirgsart zu weit verbreiteten unterirdiſchen Waſſerverbindungen Veranlaſſung giebt, und wo das aus der Atmoſphäre herabfallende Waſſer Spalten findet, um ſich dort hinabzuſenken, zugleich aber durch ſehr dichte, höher liegende Schichten gehindert wird, an den niedrigeren Stellen des Bodens aus dieſem hervorzubrechen. In ſolchen Gegenden braucht man alſo nur an Orten, die etwas niedriger, als die höchſten Stellen jener unterirdiſchen Waſſerbehälter liegen, die dem Waſſer undurchdringliche Stein- oder Thonſchicht zu durchbrechen und fortzubohren, bis man in größerer oder geringerer Tiefe jene Waſſerbehälter erreicht, und wird dann, wenn dieſe bis zu höheren Gegenden hinauf mit Waſſer gefüllt ſind, ein ſchnell und mit Gewalt heraufdringendes Waſſer hervorbrechen ſehen. Obgleich man die Lage jener Waſſerbehälter, die ganz unter der Erde verborgen ſind, nicht kennt, ſo kann man doch in manchen Gegenden mit vieler Wahrſcheinlichkeit das Gelingen ſolcher Bohrverſuche vorherſagen, und wenn es auch immer noch einigermaßen dem Zufall unterworfen bleibt, ob und in welchem Grade man ſeinen Zweck erreicht, ſo muß man doch aus dem in ſolchen Gegenden ſo häufigen Gelingen des Unternehmens ſchließen, daß beſonders in Kalkſteinlagerungen ſich ſehr weit verbreitete unterirdiſche Waſſervorräthe finden müſſen, die, mit höheren, ebenfalls mit Waſſer gefüllten Höhlungen in Verbindung ſtehend, einen unerſchöpflichen Waſſervorrath hervordringen laſſen, ſobald man die Steinſchicht durchbricht, welche das Waſſer in der Tiefe hinderte, ſich bis zu dem Niveau der höheren Behälter zu erheben.

[1] Unter allen bekannt gewordenen Bohrlöchern ſind die folgenden vier, in denen theils auf reines Waſſer, theils auf Salzſoole und Steinſalz mit mehr oder minder glücklichem Erfolge gebohrt wurde, am tiefſten, und zwar alle weit über 1000 Fuß tief getrieben worden: im Schlachthofe zu Grenelle bei Paris, in der Saline Neuſalzwerk, nicht weit von Minden, in Nowe-Brzesko in Polen, in Ceſſingen bei Luxemburg.

Ausfließende Waſſermenge.

Ich kehre zu dem Ausfließen des Waſſers aus Gefäßen zurück und muß, ehe ich zu einer hiebei vorkommenden Schwierigkeit übergehe, doch noch ein zweites Mittel anführen, wodurch wir uns von der Richtigkeit der vorhin angegebenen Geſchwindigkeit überzeugen können. Statt den Strahl nach verticaler Richtung hervorſpringen zu laſſen, wollen wir ihm durch eine Oeffnung in der verticalen Wand A B (III. Fig. 31) die horizontale Richtung C D geben und nun die Sprungweite E F bis dahin, wo er den Boden F E erreicht, abmeſſen. Da hier die anfängliche Geſchwindigkeit völlig horizontal iſt, ſo gelangt das Waſſer, wie ein anderer geworfener Körper, bloß wegen der Kraft der Schwere von C bis zur Tiefe C E, es wird alſo zu ſeinem Fallen eine Secunde brauchen, wenn C E 15 Fuß beträgt, und da die Entfernung E F den in eben der Zeit durchlaufenen Weg nach horizontaler Richtung zeigt, ſo iſt, wenn man C E = 15 Fuß genommen hat, E F das Maaß der Ausflußgeſchwindigkeit. Man findet dieſe mit einem geringen Verluſte, welchen der Widerſtand der Luft bewirkt, gleich derjenigen Geſchwindigkeit, die ein von der Höhe G C frei fallender Körper erreichen würde, wenn nämlich in G die Oberfläche des Waſſers iſt.

Aber obgleich wir ſo die Geſchwindigkeit des hervorſtrömenden Waſſers kennen, ſo iſt damit doch die ausfließende Waſſermenge noch nicht beſtimmt, weil der Waſſerſtrahl in geringem Abſtande außerhalb der Oeffnung eine Zuſammenziehung erleidet, die theils durch das Herandringen des Waſſers von den Seiten her (III. Fig. 32), theils nach Buff's Meinung auch durch die Reibung bewirkt wird, welche in der Oeffnung ſelbſt entſteht und die äußeren Schichten des Strahls etwas verzögert. Die Ausflußmenge ſollte nur ſo groß ſeyn, wie ſie bei derſelben Geſchwindigkeit eine Oeffnung, gleich dem Querſchnitte des zuſammengezogenen Strahles, geben würde; ſie ſcheint aber nach allen Verſuchen um etwas Geringes größer zu ſeyn, als ſich hienach erwarten läßt. Im Allgemeinen beträgt ſie 6 bis 7 Zehntel deſſen, was ohne die Zuſammenziehung ausſtrömen würde, und viele Beobachter haben durch ſorgfältige Verſuche beſtimmt, in welchem Verhältniſſe bei Oeffnungen von verſchiedener Größe und Geſtalt und bei verſchiedener Druckhöhe die ohne Rückſicht auf die Zuſammenziehung berechnete Ausflußmenge vermindert werden muß. Wo es darauf ankömmt, die Ausflußmenge zu vergrößern, pflegt man an die Oeffnung eine kurze cylindriſche oder coniſche Röhre zu fügen, durch welche, da ſie ſich immer voll erhält, die Zuſammenziehung gehindert, und alſo, trotz der geringen Verzögerung durch die vermehrte Reibung, doch das Ausfließen begünſtigt wird.

Ueber die Form und das eigentliche Weſen des hervordringenden Strahls hat Savart ausführliche Unterſuchungen angeſtellt. Nach ſeinen Angaben beſteht der Strahl, der aus einer kreisrunden Oeffnung in einer dünnen Wand hervorſchießt, aus zwei Theilen; der der Oeffnung zunächſt gelegene iſt durchſichtig und verengt

ſich nach der zuſammengezogenen Stelle des Strahles hin; der entferntere Theil iſt immer in unruhiger Bewegung, und beſteht aus einzelnen Tropfen, die ſich periodiſch bald mehr in die Länge, bald mehr in die Breite ausdehnen; die regelmäßig auf einander folgenden Anſchwellungen, aus denen er beſteht, deuten darauf hin, daß vielleicht eine ſehr geringe Zuſammendrückung des Waſſers hiebei einen Einfluß ausübt, und daß auf jeden Fall die Geſchwindigkeit des Waſſers in der Oeffnung ſelbſt periodiſch um etwas Geringes ab- und zunimmt. Erwähnenswerth iſt ferner, daß ein gegen eine feſte Fläche treffender Strahl nicht merkbar abprallt, ſondern ſich der Fläche eng anſchließt und ſich nach allen Seiten längs derſelben ausbreitet.

Die Beſtimmung derjenigen Verzögerung, welche das fließende Waſſer in längeren Röhrenleitungen durch die Biegungen derſelben und durch die Reibung erfährt, iſt zwar von practiſcher Wichtigkeit, da ſie bei der Austheilung des Waſſers in Städten durch die Waſſerkünſte in Frage kommt; ſie gründet ſich jedoch hauptſächlich auf ſpecielle Angaben der Erfahrung, weswegen ich ſie übergehe und nur als hieher gehörig noch erwähne, daß ſchon die Alten einige Kenntniß der eben erörterten Geſetze über den Ausfluß bei der Conſtruction ihrer Waſſeruhren bewährten. Ein Schwimmer auf der allmälig ſinkenden Oberfläche des im Gefäße noch übrigen Waſſers zeigte auf einer an der Wand des Gefäßes angebrachten Scale die Stunden an, und die Geſchicklichkeit des Cteſibius, Hero und Anderer wußte ſchon damals künſtlichere Einrichtungen hiemit in Verbindung zu ſetzen.

Oſcillationen des Waſſers in Röhren.

Die oſcillirende Bewegung des Waſſers in einer zweiſchenkligen Röhre A B C D (III. Fig. 33) ſcheint zwar beim erſten Anblicke nur zu einer nutzloſen theoretiſchen Speculation Anlaß zu geben; aber Sie werden bald ſehen, daß nützliche Anwendungen für die Bedürfniſſe der Geſellſchaft und Erklärungen merkwürdiger Naturerſcheinungen ſich auch an dieſe anſcheinend unbedeutende Betrachtung anknüpfen.

Wenn das Waſſer, in den verbundenen verticalen Röhren (III. Fig. 33) A B, C D ruhend, ſich bis an E und F erſtreckt, ſo verſteht es ſich von ſelbſt, daß bei der Störung des Gleichgewichts die eine Oberfläche ſinken muß, wenn die andere ſteigt, und daß dieſe Abweichung vom Gleichgewichtszuſtande bei gleicher Weite beider Röhren gleich viel betragen, die Oberfläche H ſo tief unter F, als die Oberfläche G über E liegen wird. Ebenſo einleuchtend iſt es, daß die höhere Oberfläche im Sinken, die tiefere im Steigen grade dann, wenn beide in E, F ankommen, die größte Geſchwindigkeit erreichen, daß ſie über den Gleichgewichtszuſtand hinausgehen, und daß eine lange Reihe von Oſcillationen, die wegen des Widerſtandes an den Wänden allmälig abnehmen, die Folge dieſer Störung des Gleichgewichts ſeyn wird.

Dieſe Oſcillationen werden deſto langſamer vollendet, je länger die in der überall gleich weiten Röhre enthaltene Waſſermaſſe iſt, und zwar iſt genau

die Zeit einer Oſcillation doppelt ſo groß bei einer viermal ſo langen Waſſermaſſe, wenn ſonſt alles gleich iſt. Es ſey E B C F (III. Fig 33) die eine, e b c f die andere Waſſermaſſe, jene viermal ſo lang als dieſe; man bringe beide gleich weit aus der Stellung des Gleichgewichts, ſo daß F H = f h, E G = e g iſt; dann iſt offenbar die bewegende Kraft, der Druck, welcher das Gleichgewicht herzuſtellen ſtrebt, in beiden Fällen gleich, aber die in Bewegung zu ſetzende Maſſe iſt viermal ſo groß im einen, als im andern Falle, und deshalb iſt es ganz ſo, als ob im einen Falle eine ein Viertel ſo große Schwerkraft als im andern Falle wirkte. Wir wiſſen aber, daß die einfache Schwerkraft in 1 Sec. den fallenden Körper ſo weit treibt, als die ein Viertel ſo große Kraft in 2 Sec., und da hier in Beziehung auf die beſchleunigenden Kräfte, welche eben das Verhältniß haben, dieſelben Folgerungen gelten, ſo erhellt die Richtigkeit der Behauptung, daß die viermal ſo lange Maſſe ihre Oſcillationen halb ſo ſchnell vollendet, und daß ebenſo die neunmal ſo lange Maſſe dreimal ſo viel Zeit, die ſechzehnmal ſo lange Maſſe viermal ſo viel Zeit gebraucht u. ſ. w. Für ein zweites merkwürdiges Geſetz glaube ich hier um ſo eher den Beweis mittheilen zu dürfen, da dieſer zugleich mehr Licht über die Gleichzeitigkeit der größern und kleinern Oſcillationen eines Pendels verbreitet. Es ſey (III. Fig. 34) in L M N O eine genau eben ſolche Waſſermaſſe wie in P Q R S, jene aber werde ſo ins Schwanken geſetzt, daß die größte Hebung der einen Oberfläche = L I doppelt ſo viel als P p in der andern Röhre betrage. Ziehen wir hier durch die Oberflächen o und s in den beiden andern Schenkeln die Horizontallinien o u, s v; ſo iſt offenbar bei dem geſtörten Gleichgewichte die Druckhöhe l u in der einen, p v in der andern Röhre das Maaß der bewegenden Kraft. Jene doppelt ſo große Kraft treibt die Oberfläche l in gleicher Zeit durch einen doppelt ſo großen Weg l t, ſtatt daß dieſe nur den kleinern Weg p w zu durchlaufen angetrieben wird, und da dieſes Verhältniß immer ſtatt findet, ſo kömmt l ebenſo ſchnell in L an, als p in P, der Ungleichheit der Wege ungeachtet. Hier erhellt alſo der ſtrenge Grund der Gleichzeitigkeit ungleich großer Oſcillationen, wenn die Form beider Röhren und die Länge der in ihnen enthaltenen Waſſermaſſen gleich iſt oder auch eine und dieſelbe Waſſermaſſe in eben der Röhre ungleiche Oſcillationen vollendet.

Die Oſcillationen ſind langſamer, wenn die Schenkel, in welchen die Waſſerflächen ſich auf und ab bewegen, nicht vertical, ſondern gegen den Horizont geneigt ſind, offenbar deswegen, weil dann, wie auf der ſchiefen Ebene, nur ein Theil der Schwerkraft beſchleunigend einwirkt.

Iſt die Weite der beiden Röhren ungleich, ſo muß das Waſſer in der engern Röhre A B (III. Fig. 35) ſehr hoch ſteigen, wenn es auch in der weitern C D nur wenig ſinkt, und kleine Oſcillationen in dieſer werden ſehr große Oſcillationen in jener zur Folge haben. Dieſe Ueberlegung könnte Anlaß geben, wenn das Waſſer von A nach B gehoben und dort in dem Gefäße E aufgefangen werden ſoll, dieſes durch geringe Schwankungen der

Oberfläche D zu bewirken, und es iſt wenigſtens einleuchtend, daß es möglich ſey, das Waſſer in A B 100 Fuß hoch zu heben, wenn man in der hundertmal weitern Röhre Schwankungen von 1 Fuß hoch bewirkte; — ob dieß mit Vortheil anzuwenden ſey, wäre ſchwerer zu beſtimmen, aber es hebt wenigſtens das Unbegreifliche auf, was der Stoßheber oder, nach Montgolfier's Benennung, der hydrauliſche Widder in ſeiner Wirkung zu zeigen ſcheint.

Montgolfier's Stoßheber.

Die etwas künſtlichere Zuſammenſetzung des hydrauliſchen Widders zeigt die Figur (III. Fig. 36), wo freilich die einzelnen Theile nicht in ihren wahren Verhältniſſen dargeſtellt werden konnten. Der ganze Stoßheber beſteht aus dem weiten Gefäße A B, der Leitröhre B C, die bedeutend lang ſeyn muß, und der Steigröhre D E. Bei der letztern will ich ſogleich noch erwähnen, daß man ſie in dem feſt verſchloſſenen Gefäſſe D C, dem Windkeſſel, bis nahe an den Boden gehen läßt, damit die über der Waſſerfläche F G vorhandene, zuſammengedrückte Luft das Aufſteigen des Waſſers während der Zeit unterhalte, wo die Hauptkraft ihre Wirkung unterbricht.

Die weſentlichſten Stücke des Stoßhebers ſind aber die zwei Ventile H, I, auf welche ich vorzüglich Ihre Aufmerkſamkeit lenken muß. Das letztere I iſt ein ganz gewöhnliches Ventil, das bloß die Beſtimmung hat, das Waſſer in das Gefäß F D G einzulaſſen und ihm dagegen den Rückweg zu verſperren. Das Ventil H ſchließt die an der obern Seite der Leitröhre, nahe an ihrem Ende befindliche Oeffnung von unten; eine gut eingeſchliffene kegelförmige Platte hat in der unten etwas weiteren Röhre bei H nur einen kleinen Spielraum und ſchließt die Oeffnung, wenn ſie von unten hinaufwärts gedrückt wird; hört dieſer Druck auf, ſo ſenkt ſie ſich vermöge ihres eigenen Gewichtes hinab, wobei aber, durch ein ſich auf den Rand der Oeffnung ſtützendes Querſtückchen, geſorgt iſt, daß das Sinken nur wenig betragen könne. Den von unten hinaufwärts ſtrebenden Druck bewirkt das Waſſer, wenn Gefäß und Röhre bis an A und bis an F G gefüllt ſind, indem das Gewicht der Ventilplatte ſo gering ſeyn muß, daß der Druck des Waſſers auf die Ventilplatte H größer als das Gewicht der letztern iſt; in dieſem Zuſtande iſt Alles geſchloſſen, und das Waſſer nimmt die Stellung des Gleichgewichtes ein.

Um das Inſtrument in Thätigkeit zu ſetzen, drückt man für einen Augenblick von außen das Ventil H nieder, läßt es aber ſogleich wieder frei. Dadurch wird bewirkt, daß das Waſſer bei H auszufließen anfängt und alſo ein Zuſtrömen des Waſſers von A B her eintritt; aber ſobald das Ventil wieder losgelaſſen iſt, wird es durch den Druck des andrängenden Waſſers ſogleich geſchloſſen, das gegen C drängende Waſſer ſucht ſich bei I einen Ausweg und ſteigt in die Steigröhre hinauf. Offenbar kann dieſe von B nach C gerichtete Oſcillation nur einen Augenblick dauern, und nun fängt die rückwärts gehende Schwankung an. Da ſich, ſobald dieſe in der Steigröhre

anfängt, das Ventil I ſchließt, ſo kann nur unterhalb I das Beſtreben zurück zu gehen eintreten, und dabei wird der Waſſerdruck auf H ſo vermindert, daß das Ventil H herabſinkt und die Oeffnung H frei läßt, alſo einen neuen Ausfluß geſtattet, der nun ſogleich einen neuen Zufluß von B her, alſo eine neue Oſcillation, zur Folge hat, die ſich genau wie die vorige verhält. Damit das Spiel des Stoßhebers fortwährend ſtatt finde, muß das Gewicht des Ventils H und der Spielraum, um welchen es ſich ſenken kann, ſorgfältig regulirt ſeyn; wenn das geſchehen iſt, ſo bewegt das Ventil H ſich nach einem immer gleichen Takte auf und ab, und während bei H eine ziemliche Menge Waſſers in unterbrochenen Zeiträumen verloren geht, wird das Waſſer in der Steigröhre immer höher getrieben, bis es eine ſo große Höhe erreicht, daß der auf dem Ventile I laſtende Druck dem Waſſerſtoße nicht mehr nachgiebt. Soll alſo die Abſicht, das in E ausfließende Waſſer zu ſammeln, erreicht werden, ſo muß die Höhe C E nicht zu groß ſeyn, und dann wird das ausfließende Waſſer bei jedem neuen Stoße auf das Ventil I erſetzt, und die Wirkung wird unaufhörlich fortgehen, wenn bei A die Waſſerfläche in immer gleicher Höhe erhalten wird.

Damit der Zweck des Stoßhebers erreicht werde, muß die andrängende Waſſermaſſe in der Leitröhre groß genug ſeyn, um mit gehöriger Gewalt auf das Ventil I zu wirken; die Lage des Ventils H muß angemeſſen gewählt und überhaupt das Verhältniß aller einzelnen Theile auf eine paſſende Weiſe abgemeſſen ſeyn, damit eine ziemliche Menge Waſſer gehoben werde. Ein unvermeidlicher Nachtheil aber, der mit dieſer Vorrichtung zum Heben des Waſſers verbunden iſt, beſteht darin, daß eine größere Waſſermenge bei H verloren geht, als durch die Steigröhre gehoben wird, und daß die gehobene Waſſermenge in ſtarkem Maaße abnimmt, wenn die Höhe etwas erheblicher ſeyn ſoll, bis zu welcher man es hebt. An dieſem Umſtande ſcheint es vorzüglich zu liegen, daß die viel verſprechenden Ankündigungen, mit denen die Erfindung zuerſt bekannt gemacht wurde, nicht durch den weitern Erfolg gerechtfertigt worden ſind. Indeß hat doch wirklich Montgolfier mit ſeiner Maſchine das Waſſer 108 Fuß hoch gehoben, und ſie würde in Fällen, wo reicher Waſſervorrath vorhanden iſt, wo man vielleicht aus einem Fluſſe Waſſer zur Bewäſſerung oder zu andern Zwecken heben wollte, ihren Nutzen haben können.

Ungewöhnliche Erſcheinungen bei plötzlichen Fluthen.

Ob ich Recht habe, wenn ich eine Reihe merkwürdiger Erſcheinungen, welche die Fluthen in gewiſſen Gegenden und die durch Sturm erregten Anſchwellungen des Waſſers in andern Gegenden uns darbieten, mit dieſen Oſcillationen des Waſſers in Verbindung ſetze, will ich Ihrer eigenen Entſcheidung überlaſſen, und Ihnen dieſe Erſcheinungen nebſt der Erklärung, wie ſie mir am wahrſcheinlichſten vorkömmt, angeben.

Obgleich die Fluth in ihrem allmäligen Wachſen an den meiſten Orten

einen ziemlich regelmäßigen Fortgang zeigt, ſo daß ſie zwar ſchneller um die Mitte der Fluth, langſamer kurz nach dem niedrigſten und kurz vor dem höchſten Waſſer, aber doch nur immer allmälig anwächſt, ſo giebt es doch in den Mündungen der Ströme an einigen Orten ein ſo plötzliches Einſtürzen der Fluth, daß es den Schiffen gefährlich wird. Dieß iſt zum Beiſpiel in der Dordogne beſonders dann der Fall, wenn eine Springfluth, bei niedrigem Stande des Waſſers im Strome, eintritt und der Mascaret, wie man dieſes heftige Einſtürzen des Waſſers dort nennt, wie eine ungeheure Welle ſich den Strom hinauf wälzt. Die Gewalt des Mascarets iſt ſo groß, daß ſie zuweilen die ſteinernen Einbaue zerſtört, Schiffe verſenkt u. ſ. w. Dieſes unregelmäßig ſchnelle Anſchwellen der Fluth in einem plötzlich verengerten Strome läßt ſich mit dem ſchnellen Aufſteigen in einer engern Röhre vergleichen. Die Dordogne iſt ein verhältnißmäßig enger Strom, der in ziemlich grade fortgehender Richtung von der breitern Garonne aufgenommen wird, welche ſelbſt ſich in den weiten, einem langen Meerbuſen ähnlichen Raum der Gironde ergießt. Tritt nun die Fluth in dieſen weiten Meeresarm ein, ſo iſt die Waſſermenge, die ihn bis 1 oder 2 Fuß füllt, zureichend, um in der engern Dordogne eine viel höher gehende Oſcillation hervorzubringen, und je ſchneller bei Springfluthen das Waſſer wächſt, je mehr ſein gleichmäßiger Eintritt durch Untiefen gehindert wird, deſto auffallender und heftiger muß das Steigen des Waſſers, wenn es nun auf einmal erfolgt, in dem engern Strome ſeyn, in welchen eine große Waſſermaſſe ſich ſo plötzlich hineindrängt.

Dieſelbe Erſcheinung ſcheint, freilich unter anderem Namen, auch in andern Strömen vorzukommen, und etwas Aehnliches wenigſtens mag die Urſache der zwar ſeltenen, aber zerſtörenden Fluthen ſeyn, die zuweilen Petersburg betroffen haben. Die enge Newa iſt eine Fortſetzung des Kronſtädter Meerbuſens, der ſelbſt eine Verlängerung des noch weiteren finniſchen Meerbuſens bildet. Wird nun vom Sturme eine große Waſſermaſſe, die im finniſchen Meerbuſen nur eine mäßige Erhöhung der Oberfläche bildet, in den Kronſtädter Meerbuſen und in die engere Newa gedrängt, ſo kann, bei ſehr ſchnellem Eindringen, das Waſſer über das Niveau des Meerbuſens ſteigen und die ſehr plötzlichen Ueberſchwemmungen bewirken, wovon die Fluth am 19. Nov. 1824 ein Beiſpiel gab. Auch die nicht ſo ſeltenen Sturmfluthen an den holländiſchen und deutſchen Küſten der Nordſee laſſen ſich, wenigſtens da, wo ein Eindringen in einen engern Raum ſtatt findet, hiemit vergleichen, und die oft gemachte Bemerkung, daß bei den Sturmfluthen das Waſſer plötzlich wächſt, dann geraume Zeit gleiche Höhe behält oder wohl gar ein wenig abzunehmen ſcheint und nach einiger Zeit wieder ſtärker andringt, ſcheint auf ſolche Oſcillationen hinzudeuten.

Bewegung der Wellen.

Die Wellenbewegung gehört endlich auch noch hieher, und wenn ſie ſich gleich nicht ſo unmittelbar, wie man es wohl zuweilen angenommen hat, mit

den Oſcillationen in Röhren vergleichen läßt, ſo erhält ſie doch von dieſen manche Aufklärung. Daß bei ihr nicht, wie das ſcheinbare Fortrücken der Wellenköpfe es anzuzeigen ſcheint, ein lebhaftes Fortſtrömen ſtatt findet, davon überzeugt uns der Augenſchein, wenn wir darauf achten, wie ein auf den Wellen ſchwimmendes Stückchen Holz zwar ſchwankend gehoben wird und ſich wieder ſenkt, aber nicht erheblich mit den Wellen fortgeführt wird; hieran zeigt ſich alſo, daß jedes Waſſertheilchen nur eine oſcillirende Bewegung hat, ähnlich wie die Aehren eines vom Winde bewegten Kornfeldes, die ſich nur hin und her bewegen und dadurch doch Wellen bilden, die über das ganze Feld fortſchreiten. Daß dieſe Bewegung indeß bei dem Waſſer nicht in einem bloßen Hinauf- und Hinabgehen beſteht, wie in den verbundenen Röhren, das haben theils Beobachtungen, theils theoretiſche Betrachtungen gezeigt. Die Beobachtung läßt ſich ſchon an den Wellen, wie wir ſie, vom Winde erregt und unterhalten, ſo oft wahrnehmen, anſtellen; aber noch genauer haben die ſchönen Verſuche von E. und W. Weber die Bewegung der einzelnen Waſſertheilchen an der Oberfläche des Waſſers und in der Tiefe kennen gelehrt. Sie bedienten ſich zu ihren Verſuchen einer ziemlich langen Rinne, in welcher Wellen erregt wurden, und da die Rinne ſchmal genug war, um auf das, was nach der Querrichtung ſtatt fand, nicht Rückſicht zu nehmen, ſo liefen die Wellen in ihr bloß der Länge nach fort. Damit man aber überall, wo man wollte, die Bewegung der Waſſertheilchen ſehen konnte, beſtanden die verticalen Seitenwände der Rinne aus Glas, und man richtete, quer durch die Rinne durchſehend, das mit einem Microſcope bewaffnete Auge auf irgend ein kleines im Waſſer ſchwimmendes Körperchen. So wie nun die Welle vorbei lief, ſah man dieſes Körperchen einen kleinen Kreis beſchreiben, wenn es ſich an der Oberfläche befand, man ſah, wie es eine nach verticaler Richtung weniger als in die Breite ausgedehnte Ellipſe durchlief, wenn es in einiger Tiefe unter der Oberfläche lag, und daß endlich nahe am Boden dieſe Bewegung in ein bloßes Vorwärts- und Rückwärtsgehen überging. Dieſe kreisförmige Bewegung jedes einzelnen Theilchens erklärt das Fortlaufen der Wellen auf der Oberfläche. Da nämlich die Beobachtung zeigt, daß die einem Theilchen gegebene Bewegung ſich im nächſten Augenblicke zu dem anliegenden Theilchen und ſo ferner fortpflanzt, und daß ſo nach und nach alle Theilchen ihre Bahnen durchlaufen, ſo brauchen wir nur zu überlegen, in welchen Punkten ihrer Bahnen die verſchiednen Theilchen ſich gleichzeitig befinden, um die Figur der Oberfläche in dem Augenblicke kennen zu lernen. Es ſey (**III. Fig. 37**) b das zuerſt in Bewegung geſetzte Theilchen; die Beobachtung zeigt, daß die Wirkung der erregten Erſchütterung theils darin beſteht, dieſem Theilchen eine Bewegung, vermöge welcher es den Kreis b c d e durchläuft, zu ertheilen, theils die vor ihm liegenden Theilchen in eben ſolche Bewegung zu ſetzen. Iſt nun die Fortpflanzung der Bewegung ſo ſchnell, daß ſie das Theilchen f grade dann erreicht, wenn b ſeinen Kreislauf einmal vollendet hat, ſo läßt ſich für die zwiſchenliegenden Theilchen Folgendes überſehen. Man theile den Zwiſchenraum b f in mehrere

gleiche, zum Beiſpiel in vier gleiche Stücke, in g, h, i, ſo bezeichnen g, h, i die Theilchen, welche ihre Bewegung anfingen, als das Theilchen b in den Punkten c, d, e ankam; dann ergiebt ſich leicht, daß b den ganzen Umfang, g drei Viertel ſeines Kreiſes, h die Hälfte, i ein Viertel der ihm angehörenden Bahn durchlaufen hat, eben in dem Augenblicke, da f anfängt von f an vorzurücken. In dieſem Augenblicke ſind alſo die fünf Theilchen b, g, h, i, f in den Punkten b, k, l, m, f, ſo daß b k l m f die Wellenlinie der Oberfläche iſt, wenn b ſeine Seitenbewegung bei einer bis b unter den Gleichgewichtszuſtand hinabgedrückten Lage anfing. Es ſey n ein ebenſo weit von f entferntes Theilchen, ſo fängt dieſes ſeine Bewegung an, wenn b in c, wenn g in g, wenn h in o, wenn i in p, wenn f in q ankömmt, und jetzt iſt c g o p q n die Wellenlinie der Oberfläche; kurz nachher iſt der höchſte Wellenkopf nach r, das tiefſte Wellenthal nach h gekommen, und d s h t r n iſt die Wellenlinie, ſo daß der Wellenberg von l nach r, das Wellenthal von b nach h fortgerückt iſt, in dem Zeitraume, in welchem jedes Theilchen ſeine halbe Bahn durchläuft.

Aus dieſem Kreislaufe erklärt ſich auch die Erfahrung, daß jede Welle, wenn wir ſie auch mit der größten Sorgfalt als eine einzige zu erregen ſuchen, dennoch hinter ſich eine neue erregt; denn offenbar muß, wenn das Theilchen b einmal in Kreisbewegung geſetzt iſt und alle vor ihm liegenden Theilchen in eine gleiche Bewegung ſetzt, das Theilchen b nach Vollendung eines Umlaufs einen zweiten anfangen, und es entſteht daher hinter der urſprünglich erregten Welle eine neue, wenn jene um eine ganze Wellenbreite fortgegangen iſt. Die Erregung einer Welle, die man als in ihrer Entſtehung einzig anſehen könnte, iſt nicht ſo ganz leicht. Laſſen wir nur einen einzigen Tropfen in das Waſſer fallen, ſo ſollte dieſer freilich auch nur eine Welle erregen; aber wir bemerken, daß ein zurückſpringender Tropfen entſteht, der eine zweite Erſchütterung hervorbringt, und daß ſo mehrere auf einander folgende Wellen entſtehen. Jenes Zurückſpringen eines neuen Tropfens entſteht daher, daß der von dem fallenden Tropfen hervorgebrachte Stoß auf die Waſſerfläche die nächſten Theilchen zurücktreibt und ſie über die Oberfläche erhebt, dadurch erlangen ſie theils eine Fortſchiebung nach außen und bringen die jenen Punkt kreisförmig umgebenden Wellenringe hervor, theils erhalten ſie das Beſtreben, in die in der Mitte gemachte Vertiefung zurückzugehen, wo ſie, von allen Seiten zuſammentreffend, durch die Heftigkeit ihres Stoßes einen Tropfen hinaufwerfen. Dieſer Tropfen beſteht, wenn auch der ins Waſſer hineinfallende Tropfen aus einer andern Flüſſigkeit beſtand, dennoch großentheils aus Waſſer, wovon aus dem Angeführten der Grund erhellt. Bei den von E. und W. Weber angeſtellten Verſuchen ward ein anderes Verfahren, um dieſe mehrfachen Wellenerregungen zu vermeiden, angewandt; ſie zogen nämlich in einer eingetauchten Röhre ein wenig Waſſer ſo herauf, daß die ganze Säule ſich über die Oberfläche erhob, und indem ſie dieſe plötzlich ſinken ließen, brachten ſie eine einfache Wellenerregung hervor.

Da es dem Plane dieſer Vorleſungen nicht angemeſſen wäre, wenn ich dieſem einzelnen Gegenſtande ſo viel Zeit ſchenken wollte, als nöthig wäre, um die vielfach abgeänderten, lehrreichen Verſuche mit einiger Vollſtändigkeit zu erwähnen, welche von dieſen beiden Naturforſchern angeſtellt ſind, ſo muß ich mich begnügen, nur einige derjenigen Verſuche und Betrachtungen auszuheben, die zu einer Erklärung der Phänomene führen, welche ſich uns am häufigſten darbieten. Dahin gehören die Verſuche über die Tiefe, bis zu welcher noch die Bewegung der Theilchen merklich bleibt, wenn man Wellen von geringer Höhe erregt; ſelbſt in einer Tiefe, die 350 mal ſo groß als die Höhe der Wellen war, fand noch eine merkliche Bewegung ſtatt. Daß auch auf dem Meere, wo die Wellen bekanntlich eine große Höhe erreichen, die Wellen ſich bis in ſehr große Tiefen erſtrecken, dafür ſpricht nicht bloß die nach Stürmen ſo merkliche Trübung des Waſſers, ſelbſt bei ſehr tiefer Lage des Bodens, ſondern auch der unmittelbare Augenſchein, wenn man die Wellen beobachtet. Bremontier beobachtete den Fortgang der gegen das Ufer heranrückenden Wellen im biscajiſchen Meerbuſen, und ſah, wie ſie bei einer Höhe von 5 bis 6 Fuß allemal eine Brechung erlitten von Felſen, deren Spitzen gegen 30 Fuß tief lagen; hier nämlich hoben ſie ſich mehr, als da wo ſie über tieferem Boden ruhig fortgingen. Bei etwas ſtürmiſchem Wetter ſieht man ein Brechen und Schäumen der Wellen an Orten, wo kein ſichtbares Hinderniß vorhanden iſt; dieſes findet da ſtatt, wo Sandbänke in der Tiefe ſind, und de la Coudraye behauptet, daß an der Bank von Neu-Fundland die Wellen ſich nicht mehr frei bilden können, da wo der Boden noch 250 Fuß tief unter der Oberfläche iſt. Bei geringern Tiefen wird jeder Stein am Boden durch die Unregelmäßigkeit kenntlich, die er im Fortgange der Wellen hervorbringt. Dieſer gehinderte Fortgang der Welle iſt am Ufer eine der Haupturſachen ihres ſchäumenden Ueberſtürzens, welches den Dämmen, mit welchen die niedrigen Gegenden am Meere gegen das Waſſer geſchützt werden, ſo verderblich iſt. Wenn die Welle an einem gleichmäßigen Abhange heraufläuft, ſo hält der Boden den Fortgang der untern Theile auf, während die obern Theile ſich noch mit ihrer vorigen Schnelligkeit fortbewegen; die Welle wird daher an ihrem vorangehenden Theile einen ſteilern Abhang erhalten, und endlich wird ihr Gipfel über den vorangehenden Fußpunkt der Welle fortgeführt und ſtürzt ſchäumend auf den vom Waſſer wenig oder gar nicht bedeckten Boden herab. Dieſer Waſſerſturz iſt unbedeutend bei einem ſehr flachen Ufer, nachtheilig wird er da, wo die Hemmung der Welle ſchneller eintritt und wo das Ueberſtürzen durch den auf den Gipfel der Welle wirkenden Sturm noch beſchleuniget wird; hat hier die mit Gewalt gegen das Ufer gepreßte und von dem ſtets andringenden Waſſer doppelt hoch aufgethürmte Welle eine Höhe von 10 oder 15 Fuß erreicht und ſtürzt nun auf die vorliegende Fläche des Dammes herab, ſo läßt ſich begreifen, wie ſie Centner ſchwere Steine wegführen, die ſtärkſten Dämme durch ihre immer auf denſelben Punkt wiederholte Einwirkung zerſtören und die großen Verheerungen anrichten kann, von

welchen die Bewohner der Seeufer, wenn auch ihre Dämme den Ueberſchwemmungen wohl Widerſtand zu leiſten pflegen, dennoch ſo oft verderbliche Proben zu ſehen Gelegenheit haben.

Wie hoch die Wellen im Meere ſteigen können, darüber ſind die Nachrichten ſehr verſchieden. Wenn mehrere Wellen einander durchkreuzend fortgehen, ſo thürmen ſie ſich im Durchſchnittspunkte ſo auf einander auf, daß der Wellenkopf ungefähr die Höhe erreicht, welche der Summe beider Wellen gleich iſt. Sie bilden dann die nach allen Seiten abhängigen, ſchäumenden Wellenköpfe, welche man in großen Strömen oder am Ufer des Meeres ſo oft wahrzunehmen Gelegenheit hat. Ein ſolches Aufeinanderthürmen der Wellen kann aber im Meere gewiß noch vielfacher ſtatt finden und größere Wellen hervorbringen, als wir vom Ufer aus je zu ſehen gewohnt ſind; nach Bremontier's Behauptung, womit auch andre Angaben übereinſtimmen, kann dieſe Wellenhöhe bis auf 60 Fuß gehen; dagegen erklärt Pentland, daß er ſelbſt während der heftigſten Stürme, die er in der Gegend des Cap Horn erlebt, nie die Wellen höher als 20 Fuß über dem mittleren Meeresſpiegel habe ſteigen ſehen, welches alſo nur eine Geſammthöhe von 40 Fuß geben würde. Wenn die Welle ſich an einem ſteilen, tief in das Waſſer hinabgehenden Gegenſtande bricht, ſo kann ſie, hoch aufbrauſend und in Tropfen zerſchlagen, bis zu einer, die Höhe der Welle vielfach übertreffenden Höhe hinaufſpritzen, und Smeaton erzählt von dem Eddyſtone-Felſen an der engliſchen Küſte, daß man die Höhe, bis zu welcher das tobende Waſſer hier zuweilen hinaufgetrieben wird, auf 200 Fuß, 100 Fuß höher als der Leuchtthurm iſt, rechne; die an dieſen Felſen mit ungewöhnlicher Wuth tobenden Wellen zertrümmerten im Jahre 1703 am 26. Nov. den damaligen, ſehr feſt gebauten Leuchtthurm in einer Nacht ſo, daß keine Spur davon übrig blieb.

Die ſchon alte Behauptung, daß aufgegoſſenes Oel die Wellen beruhige, iſt auch nach neuern Beobachtungen inſofern richtig, daß bei einer nicht allzu ausgedehnten Waſſerfläche die Wellen in ihrer Entſtehung gehindert werden, wenn an der Windſeite Oel aufgegoſſen wird, und daß dann die ſchon vorhandenen Wellen ſich bald abflachen und beruhigen, weil ſie durch die Trägheit allein nicht lange fortdauern können. Das Oel nämlich breitet ſich ſchnell in einer dünnen Schicht auf dem Waſſer aus, und da nun der auftreffende Wind nicht mehr das Waſſer durch die Reibung in Bewegung ſetzen kann, ſondern nur die Oelſchicht fortſchiebt, ſo können die erſten kleinen Wellen nicht entſtehen, die ſich dann ausbreiten und fortwährend durch den Wind vergrößert werden würden.

Unter den übrigen Beobachtungen, wozu die Wellen Veranlaſſung geben und deren viele in der Weber'ſchen Wellenlehre mitgetheilt ſind, muß ich zunächſt diejenigen noch hervorheben, welche die Zurückwerfung der Wellen von feſten Gegenſtänden betreffen. Wenn die Welle, der noch keine andere vorangegangen iſt, mit ihrem Wellenberge, den ich hier als den vorangehenden Theil anſehe, an eine verticale Wand antrifft, ſo muß der Wellenberg höher

anſchwellen. So lange bis der vorangehende Fuß des Wellenberges die Wand erreicht, bleibt die Welle in ihrer natürlichen Form; ſobald aber dieſer an die Wand ſtößt, fängt eine neue zurückgehende Wellenbewegung an, und in dem Augenblicke, da der Gipfel des Wellenberges die Wand erreicht hat, iſt der vordere Fußpunkt ſo weit zurückgelaufen, daß er mit dem hinteren oder nachfolgenden Fußpunkte des Wellenberges zuſammentrifft. Nehme ich alſo die vordere und hintere Hälfte des Wellenberges als genau gleich und jede als ein Viertel der ganzen Wellenbreite ausmachend an, ſo wird nun in dem einen Viertel der Wellenbreite doppelt ſo viel Waſſer vereinigt ſeyn, als beim ruhigen Fortgange, und der nachfolgende Fuß der Welle wird ſich in der natürlichen Oberfläche des ruhenden Waſſers befinden, der Wellenkopf aber doppelt ſo hoch angeſchwollen ſeyn. Die Figur 1, I. (auf Tafel IV.) ſtellt den noch ungeänderten Fortgang der Wellen dar, in dem Augenblicke, wo der vorangehende Fußpunkt A der Welle die Wand A erreicht; in Figur 1, II. iſt a b c d e f die Oberfläche in dem Augenblicke, da des zurückgehenden Wellenberges vordere Hälfte ſich mit der hintern Hälfte des heranrückenden Wellenberges vereinigt hat, e g ſtellt die Welle vor, wie ſie ohne Zurückwerfung geweſen wäre. Da die heranrückende Welle immer gleichförmig vorwärts und die zurückgeworfene immer gleichförmig zurück geht, wobei die an die Wand gelangten Theile ſich an die zurückgehende Welle anſchließen, ſo iſt der höchſte Gipfel g (Fig. 1, III.) zurückgehend nach g gelangt, in dem Augenblicke, wo die größte Tiefe des Wellenthales d ſich ebenſo weit von der Wand entfernt befindet; in dieſem Augenblicke füllt daher der Wellenberg das Wellenthal genau aus und z a b c e iſt die Oberfläche. Dagegen trifft etwas ſpäter (Fig. 1, IV.) die zurückgehende eine Hälfte des Wellenthales mit der vorrückenden andern Hälfte zuſammen, der zurückgeworfene Wellenberg g e trifft mit dem heranrückenden a b c zuſammen, und die Oberfläche iſt daher y z a i c h. Dabei iſt noch immer c in der dem Gleichgewicht entſprechenden Oberfläche oder in der mittlern Höhe zwiſchen den Gipfeln der Wellenberge und den Tiefen der Wellenthäler, und dieſer Punkt, der um ein Viertel der Wellenlänge von der Wand entfernt iſt, bleibt immer in dieſer Höhe, während der zwiſchen ihm und der Wand liegende Theil der Oberfläche bald wie e f (Fig. 1, II.) hoch gehoben, bald wie k e (Fig. 1, III.) horizontal, bald wie c h tief geſenkt (Fig. 1, IV.) große Schwankungen macht. Wenn immer neue ganz gleiche Wellen heranrücken, ſo erſtrecken dieſe größern Schwankungen ſich auch auf die weiter entfernten Wellen und die Oberfläche zeigt ſich ſo wie (Fig. 1, V.) l m n o p mit ebenſo breiten, aber doppelt ſo hohen Wellen, die nicht fortrücken, ſondern an derſelben Stelle nur ſteigen und ſinken.

Man kann dieſe Erſcheinungen der ſich begegnenden Wellen oft da beobachten, wo eine Folge von Wellen gegen einen ſteilen Gegenſtand trifft, nur muß der Wind, der die gewöhnliche Urſache einer Wellenreihe iſt, nicht in bedeutendem Maaße auf die nächſten Wellen an der Wand wirken, indem ſonſt zu viel Störung

für die zurückgehenden Wellen eintritt. Da wo dieß nicht der Fall iſt, bemerkt man deutlich (Fig. 1, V.), daß der Punkt o, deſſen Abſtand ein Viertel der Wellenbreite iſt, immer gleich hoch bleibt, die Oberfläche von da an aber ſich abwechſelnd ſtark hebt und ſtark ſenkt. Selbſt die zweite und ſo auch die etwas weiter entfernten Wellen zeigen dieſe ſtarken Schwankungen, ſo daß, wenn (IV. Fig. 2) a b c d die Wellen im ruhigen Fortgang vorſtellt, jetzt, wenn l m die Wand iſt, a f c g und a h c i die entgegengeſetzten Zuſtände der Wellenberge und Wellenthäler darſtellen. In größerer Entfernung von der widerſtehenden Wand treten meiſtens Unregelmäßigkeiten ein, ſo daß man nur ſehr in der Nähe der Wand das eben Geſagte beſtätigt findet, und das iſt zum Theile wenigſtens die Urſache, warum auch die Wellen des Meeres grade in der Nähe des Ufers die verderblichſten Wirkungen hervorbringen; das vorhin erwähnte Ueberſtürzen kommt dann noch außerdem hinzu.

Die Zurückwerfung der Wellen bietet auch im Kleinen Gelegenheit zu merkwürdigen Experimenten dar. Die in ſchiefer Richtung an einen feſten Gegenſtand treffenden Wellen werden unter eben dem Winkel zurückgeworfen, unter welchem ſie antrafen, und daraus entſteht ein von Weber ſchön dargeſtelltes Phänomen, welches man leicht mit reinem Queckſilber zeigen kann. Man nimmt ein cylindriſches Gefäß, deſſen Querſchnitt eine Ellipſe iſt, und läßt einen unaufhörlich fließenden feinen Strahl Queckſilbers ſo hineinfallen, daß er ſo nahe, als möglich, den einen Brennpunkt der Ellipſe trifft; dann durchſchneiden ſich die Wellen, die aus der Zurückwerfung der von dieſem Brennpunkte ausgehenden Wellen entſtehen, im zweiten Brennpunkte und ſtellen die Erſcheinung ſo, wie die Figur ſie zeigt (IV. Fig. 3), dar.[1] Hat man den Brennpunkt nicht genau getroffen, ſo ſieht man dieß an der mindern Regelmäßigkeit der Erſcheinung und kann durch einiges Verrücken des einfallenden Strahles leicht den richtigen Punkt finden.

Dieſer Verſuch zeigt zugleich einigermaßen, was bei der Durchkreuzung zweier verſchiedenen Wellenzüge vorgeht. An den Stellen nämlich, wo von beiden ein Wellenberg oder von beiden ein Wellenthal zuſammentrifft, entſteht ein doppelt ſo hoher Berg oder ein doppelt ſo tiefes Thal; wo aber von dem einen ein Berg, von dem andern ein Thal ſich begegnen, da zerſtören ſie ſich gegenſeitig; das merkwürdigſte iſt jedoch, daß die Wellenzüge nach der Durchkreuzung ſich ohne Störung faſt ganz ſo weiter ausbreiten, wie es jeder für ſich allein thun würde. Hiemit ſtehen manche leicht zu beobachtende Erſcheinungen in naher Verbindung. Wenn man z. B. in ruhig fließendes Waſſer an derſelben Stelle mehrere Tropfen ſchnell nach einander fallen läßt, ſo wird der erſte entſtehende Wellenring, während er ſich ausbreitet, zugleich ſeitwärts fortgeführt, und die nach einander durch die einzelnen Tropfen erzeugten Ringe ſtellen alſo ein Bild etwa wie I. Fig. 22 dar. Je ſchneller aber die Tropfen hinter einander fallen, deſto mehr durchkreuzen und zerſtören

[1] Dieſe Figur iſt aus Weber's Wellenlehre (Leipz. 1825) entlehnt, einem Buche, das den reichſten Stoff zu mannigfaltigen Belehrungen enthält.

ſich die einzelnen Ringe im Innern der Figur, und am vollkommenſten findet dieſes ſtatt, wenn man einen Stab in das fließende Waſſer hält, der eine ähnliche Störung hervorbringt wie fallende Tropfen, die in unendlich kurzen Zwiſchenräumen auf einander folgen. Es bleibt dann von allen Wellenringen nur die äußere gemeinſchaftliche Umgrenzung übrig, welche eine zuſammenhängende, ſich vom Stabe aus paraboliſch ausbreitende Welle bildet (I. Fig. 23) und noch von mehreren parallelen Wellen umgeben iſt, weil doch auch jeder Tropfen nicht einen einzigen Ring, ſondern mehrere von demſelben Mittelpunkte ausgehende Ringe bilden würde. Aehnliche Wellen, die ſich auch nach demſelben Principe erklären laſſen, entſtehen, wenn ein feſter Körper ſich in ruhendem Waſſer bewegt; am vollkommenſten kann man ſie von einem Dampfboote ausgehen ſehen, das ſich ſchnell in einem engen Kanale bewegt, und dann zeigt ſich auch deutlich eine Eigenthümlichkeit dieſer Wellen, die darin beſteht, daß ſie gar nicht von feſten Körpern zurückgeworfen werden.

Vierzehnte Vorleſung.

Stoß flüſſiger Körper.

Unter den Lehren, welche an practiſchen Anwendungen reich ſind, nimmt die Lehre von dem Stoße, den bewegte flüſſige Körper auf feſte Körper ausüben, und von dem Widerſtande, den feſte Körper in ruhenden flüſſigen fortbewegt leiden, einen vorzüglichen Platz ein. Um die Kraft des Stoßes flüſſiger Körper abzumeſſen, kann man eine Platte A B (IV. Fig. 4) ſo dem ausſtrömenden Waſſerſtrahle entgegen ſtellen, daß ſie, an dem Hebelarme A C angebracht, durch ein Gegengewicht in D gehindert wird, auszuweichen. Bei dieſer Einrichtung erhält man die Kraft des Stoßes in Pfunden ausgedrückt, wenn für die Mitte des auffallenden Strahles E der Abſtand vom Ruhepunkte C ebenſo groß, als der Hebelarm C D iſt, welcher das Gewicht trägt. Dieſe Kraft iſt bei Strahlen von ungleichem Querſchnitte, aber gleicher Geſchwindigkeit des ausfließenden Waſſers doppelt ſo groß, wenn der Querſchnitt verdoppelt wird, und überhaupt dem Querſchnitte proportional; dagegen wird ſie, wenn das Waſſer aus einerlei Oeffnung fließt, vierfach bei verdoppelter Geſchwindigkeit, neunfach bei dreimal ſo großer Geſchwindigkeit. Es iſt nämlich leicht einzuſehen, daß die Kraft des Stoßes ſich verdoppeln muß, wenn zweimal ſo viele Theilchen einwirken; aber wenn bei vermehrter Geſchwindigkeit nicht bloß mehr Theilchen wirken, ſondern dieſe auch mit verſtärkter Gewalt wirken, ſo wird die Kraft in größerem Verhältniß wachſen, als dem, welches der Zahl der anſtoßenden Theilchen gemäß iſt, da die Quantität der Bewegung zugleich mit der Menge der Theilchen und zugleich mit der Geſchwindigkeit wächſt. Die bei beſtimmter Geſchwindigkeit und bei beſtimmtem Querſchnitte des Waſſerſtrahles wirklich ſtattfindende Größe des Stoßes iſt, wie die

Erfahrung zeigt, ſehr verſchieden, je nachdem man entweder dem Strahle nur eine ebenſo breite Fläche gegenüberſtellt und alſo einen Theil deſſelben nutzlos am Rande vorüberfließen läßt, oder ſich bemüht, jedes Waſſertheilchen zur vollſten Wirkung kommen zu laſſen, was theils durch Vergrößerung der geſtoßenen Fläche, theils durch Einſchließung des Waſſers in ein Gerinne geſchehen kann. Im erſten Falle iſt bei ruhig gehaltener Fläche die Wirkung gleich dem Gewichte einer Waſſerſäule, deren Grundfläche dem Querſchnitte des Waſſerſtrahles gleich und deren Höhe ſo groß als die zu der Geſchwindigkeit des Strahles gehörige Druckhöhe **H F** iſt. Im zweiten Falle nähert man ſich deſto mehr dem Doppelten dieſer Wirkung, je vollkommener es gelingt jedem Theilchen des Waſſerſtrahles wirklich ſeine Geſchwindigkeit ganz zu nehmen. Die Wirkung des Stoßes nimmt ab, wenn die geſtoßene Fläche ſelbſt nach derſelben Richtung als das Waſſer in Bewegung iſt, und auf der Berückſichtigung aller dieſer Umſtände beruht die Berechnung des Effectes, den unſre unterſchlächtigen Waſſerräder hervorzubringen vermögen. Bei ihnen wird die Umdrehung dadurch bewirkt, daß das fließende Waſſer gegen die untern Schaufeln **A**, **B** des Rades **A D** (**IV. Fig. 5**) ſtößt, mit einer Kraft, die von der Größe des untergetauchten Theiles der Schaufeln, von der Geſchwindigkeit des Waſſers und von der Umdrehungsgeſchwindigkeit des Rades abhängig iſt, und deren Größe nach Art des erſten der eben erwähnten Fälle berechnet werden muß, wenn das Rad im offnen Fluſſe geht, nach Art des zweiten aber, wenn es ſich in einem wohl angelegten Schußgerinne befindet.

Weſentlich hievon verſchieden, jedoch auch auf den Stoß des Waſſers berechnet iſt die Einrichtung der nach ihrem Erfinder F o u r n e y r o n benannten Kreiſelräder. Hier wird das Waſſer nicht unmittelbar an die Schaufel geleitet, ſondern gelangt durch eine lothrechte Röhre, die ſo hoch iſt als das Gefälle erlaubt, auf einen horizontalen feſtſtehenden Boden, auf welchen die gekrümmten Zwiſchenwände **B**, **B** lothrecht aufgeſetzt ſind (**I. Fig. 24**[a]). Indem ſich das Waſſer zwiſchen dieſen hin nach außen ergießt, erlangt es in der Richtung der leitenden Wände eine Geſchwindigkeit, die von der Druckhöhe in der Zuleitungsröhre abhängig iſt, und mit der es nun auf die Schaufeln des auch horizontal liegenden Rades **A**, **A** trifft, um zuletzt zwiſchen dieſen heraus abzufließen, nachdem es ſeine ganze Geſchwindigkeit beim Stoße verloren hat. Das Rad iſt in Fig. **24**[b] (auf Tafel **I.**) im Querſchnitte gezeichnet, ſeine lothrechte Axe **C** ruht unten auf einer Spitze, geht frei durch den von den Schaufeln **A** eingeſchloſſenen Boden **B** hindurch und iſt auch durch eine umgebende Wand von der Zuleitungsröhre getrennt, welche die Axe umſchließt. Da der erreichte Effect hier ſehr weſentlich von der Krümmung der leitenden Zwiſchenwände und der Schaufeln, überhaupt von den Dimenſionen und Geſtalten aller einzelnen Theile abhängt, ſo iſt zwar die erſte Anlage ſolcher Kreiſelräder oder Turbinen weit ſchwieriger als die anderer Räder; ſie gewähren dafür aber auch beträchtliche Vortheile, indem ſie unter den verſchiedenſten Verhältniſſen, bei großem und kleinem Gefälle angewandt werden können, meiſt viel

weniger Raum einnehmen, ſich ganz aus Eiſen verfertigen laſſen und eine viel größere Umdrehungsgeſchwindigkeit geſtatten als andere Räder.

Daß eine Waſſerkraft nicht immer durch den Stoß zu wirken braucht, ſondern daß ſchon das bloße Gewicht des niederſinkenden Waſſers als bewegende Kraft angewandt werden kann, zeigt die früher beſchriebene Einrichtung der Waſſerſäulenmaſchine, ferner das oberſchlächtige Waſſerrad. An ſeinem Umfange ſind ſtatt der Schaufeln Käſten angebracht, in welche an dem oberſten Punkte des Rades das Waſſer durch ein Gerinne hineingeleitet wird, unten nehmen ſie durch die Drehung eine umgekehrte Stellung an und leeren ſich aus, ſo daß ſie z. B. rechts leer in die Höhe ſteigen, während ſie links gefüllt niederſinken und durch ihr Uebergewicht das Rad drehen. Daß hier das Rad ſo groß gemacht werden muß, als das Gefälle der zu gebrauchenden Waſſerkraft irgend geſtattet, und daß die Größe und Zahl der Käſten der Menge des Waſſers angepaßt werden muß, iſt leicht zu überſehen; auch würde ſich nach den Geſetzen der Statik leicht angeben laſſen, wie ſtark jeder Kaſten in allen ſeinen verſchiedenen Stellungen wirkt, wenn ich nicht befürchten müßte, Sie durch dieſe mehr in die Maſchinenlehre gehörigen Betrachtungen zu ermüden.

Meſſung der Geſchwindigkeit des fließenden Waſſers.

Wo man, wie z. B. in Flüſſen, die Geſchwindigkeit des Waſſers nicht aus der Druckhöhe berechnen kann, da ſucht man ſie durch einen Verſuch zu meſſen, und wenn dann die Beſtimmungen, die ein auf der Oberfläche ſchwimmender Körper darbietet, nicht ausreichen, ſo dient dazu am beſten der von Woltmann angegebene Strommeſſer. Seine Wirkung beruht auf dem Stoße, den das Waſſer auf ſchief entgegengeſtellte, um eine Axe drehbare Schaufeln oder Flügel ausübt. Sey nämlich C der Drehungspunkt (IV. Fig. 6), ABED einer der Flügel, welchen wir uns ſo gegen die Ebne des Papiers geneigt denken wollen, daß AB etwas vor, ED etwas hinter derſelben liegt, ſo wird ein ſenkrecht gegen das Papier gerichteter Strom mit einem gewiſſen Antheile ſeiner Kraft eine Drehung bewirken und den Flügel nach abed fortſtoßen, wo dieſer dann durch andre Waſſertheile dieſelbe Einwirkung erfährt. Sind die Flügel ſo geſtellt, daß ſie mit der Richtung des Stromes einen ebenſo großen Winkel machen als mit ihrer Umdrehungsebne, ſo weichen ſie dem Strome ebenſo ſchnell aus als dieſer ſelbſt ſich bewegt, und wenn man alſo die Geſchwindigkeit anzugeben weiß, womit die Flügel des Strommeſſers ſich fortdrehen, ſo kennt man damit auch die Geſchwindigkeit des Waſſers. Um die Geſchwindigkeit der Flügel zu meſſen, iſt mit ihrer Axe ein Zeigerwerk verbunden, welches die Umdrehungen derſelben zählt und ſo eingerichtet iſt, daß man es in jedem beliebigen Augenblicke mit der Axe in Verbindung ſetzen oder auch davon abrücken kann. Die ganze Beobachtung beſteht nun darin, daß man die Axe des untergetauchten Inſtrumentes in die Richtung des Stromes ſtellt, in einem nach der Uhr beſtimmten Momente das Zeigerwerk mit der Axe in Verbindung ſetzt und nach einer beſtimmten Zeit

z. B. nach einer Minute wieder abrückt; da man die Größe des Kreiſes kennt, welchen die Flügel durchlaufen, ſo findet ſich nun aus der abgeleſenen Umdrehungszahl der von den Flügeln in einer Minute durchlaufene Weg, und ebenſo groß iſt die Geſchwindigkeit des Stromes.

Die Geſchwindigkeit des Waſſers in Strömen iſt nicht an allen Punkten eines Querſchnitts gleich, ſondern da ſie durch die Reibung am Boden und an den Ufern, ſogar durch die Reibung an der Luft etwas vermindert wird, ſo iſt ſie im Allgemeinen in der Mitte etwas unterhalb der Oberfläche des Waſſers am größten und bildet dort den ſogenannten Stromſtrich, der freilich durch Krümmungen und andre Zufälligkeiten bisweilen ſehr den Ufern genähert werden kann. Beobachtet man nun in demſelben Querſchnitte die Geſchwindigkeit des Waſſers an ſehr verſchiedenen Punkten, ſo erhält man aus dem Mittelwerthe der verſchiedenen Reſultate die mittlere Geſchwindigkeit des Waſſers und kann aus der ausgemeſſenen Größe des Querſchnitts die Anzahl von Cubikfußen berechnen, die in einer Secunde oder in längerer Zeit durch dieſen Querſchnitt gehen. Obgleich nun dieſe Geſchwindigkeit im Laufe des Jahres ſehr wechſelnd, bei hohem Waſſer gewöhnlich am größten iſt, ſo läßt ſich doch aus dem, was bei mittlerem Waſſerſtande gefunden wird, ein ziemlich allgemeiner Schluß ziehen, und auf ſolchen Beobachtungen, die freilich immer noch nicht zahlreich genug angeſtellt ſind, beruhen folgende Angaben. Die mittlere Geſchwindigkeit des Rheins bei Düſſeldorf rechnet man zu 3¼ Fuß in 1 Secunde in einem Querſchnitte von 12000 Quadratfußen; er führt alſo in 1 Secunde 39000 Cubikfuß, in 1 Tage beinahe 3370 Millionen Cubikfuß Waſſer in die Nordſee; dieß beträgt im Jahre 1⅕ Billionen Cubikfuß, wozu aber auch 2000 Quadratmeilen, das iſt ungefähr 1 Billion Quadratfuß das Waſſer liefern. Von der Donau wird angegeben, daß ſie 10 Billionen Cubikfuß jährlich ins Meer führe, was auch bei dem ſehr ausgedehnten Flußgebiete der Donau nicht zu verwundern iſt. Hiebei würden ſich noch eine Menge von Unterſuchungen über die mit größerm Gefälle der Oberfläche des Stromes zunehmende Geſchwindigkeit, über die Ungleichheit der Geſchwindigkeit in verſchiedenen Stromſtrecken und dergl. anſchließen; ich will indeß nur bei einer ſehr anziehenden Betrachtung verweilen, die Dupin mittheilt.[1] Er nimmt an, daß auf dem Raume des ganzen Königreichs Frankreich zwiſchen 10 und 11 Billionen Cubikfuß Regenwaſſer fallen, wovon ungefähr ein Drittel durch die Ströme ins Meer geführt werde; er bemerkt ferner, da der Theilungspunkt des Kanales von Burgund, welcher unter den Theilungspunkten aller franzöſiſchen Kanäle am höchſten liegt,[2] nur eine Höhe von 1313 Fuß über dem Meere hat, ſo könne man das mittlere Gefälle aller dieſer Gewäſſer nicht über 300 Fuß anſetzen; und nun gründet er hierauf folgende Berechnung, welche nützliche Wirkung dieſes Waſſer leiſten könnte, wenn man es ganz zu

[1] Dupin's Geometrie und Mechanik der Künſte und Handwerke. III. 187.

[2] Theilungspunkt iſt derjenige höchſte Punkt eines Kanales, wo der den Kanal mit Waſſer verſorgende Waſſerbehälter ſich befindet.

mechaniſchen Zwecken anzuwenden im Stande wäre. Drei und eine halbe Billion Cubikfuß Waſſer leiſten bei 300 Fuß Gefälle, was 1050 Billionen bei 1 Fuß Gefälle leiſten würden, und die nützliche Wirkung dieſer Maſſe kann man mit dem, was die Arbeit von Menſchen ausrichtet, vergleichen, wenn man weiß, daß ein ſtarker Mann 1400 bis 1500 Cubikfuß Waſſer 3 Fuß hoch in einem Tage hinaufzuſchaffen im Stande iſt, alſo gegen 4500 Cubikfuß 1 Fuß hoch. Da nämlich dieſes Tagewerk eines ſtarken Mannes, das Jahr zu 300 Arbeitstagen gerechnet, die dem ganzen Jahre entſprechende Quantität = 1350000 Cubikfuß ergiebt, ſo würden 800 Millionen Menſchen das ganze Jahr arbeiten müſſen, um das aus Frankreich ins Meer fließende Waſſer bis zu der Höhe ſeiner Quellen hinaufzutragen, und ebenſo viele nützliche Kraft bietet alſo dieſes Waſſer zum Betreiben von Maſchinen in ſeinem Herabſtrömen dar. Dupin berechnet ferner nach einem freilich nur höchſt oberflächlichen Ueberſchlage, daß die Waſſermühlen, welche in Frankreich Getreide mahlen, die Arbeit von einer Million Menſchen verrichten, und ſchließt daher, daß nur etwa $1/_{800}$ der ganzen Kraft der Gewäſſer zu mechaniſchen Zwecken diene.

Furchtbare Gewalt des Waſſerſtoßes.

Die Geſchwindigkeit der Flüſſe iſt im Allgemeinen ſehr gering; welche ungemein große Geſchwindigkeiten des Waſſers aber in der Natur in außergewöhnlichen Fällen vorkommen müſſen, beweiſen die unglaublichen Wirkungen, die bei ſolchen Gelegenheiten der Stoß des Waſſers ausübt. So gehört die Erfahrung hieher, die man bei dem Durchbruche einer Waſſermaſſe am Bagnethale in Unterwallis in der Schweiz machte. In dieſem Thale hatte ſich in den kalten Sommern 1816 und 1817 das vorrückende Eis der Gletſcher ſo angeſammelt, daß es durch Abſtürzen im Anfange des Jahres 1818 den durch dieſes Thal fließenden Strom, die Dranſe, völlig dämmte. Das hiedurch geſperrte Waſſer wuchs daher oberhalb des Eisdammes hoch auf, und obgleich dieſer Eisdamm an ſeinem Fuße 3000 Fuß dick geſchätzt wurde, ſo mußte man doch endlich ein Ueberſtürzen des ſchon bis zu 180 Fuß Tiefe angeſchwollenen Sees und dann ein Durchbrechen des Dammes fürchten. Um dieſem zuvorzukommen, entſchloß man ſich, oberhalb des ſchon geſammelten Waſſers einen Stollen durch den ſelbſt in dieſer Höhe über 700 Fuß dicken Eisdamm zu arbeiten, damit, wenn das Waſſer im Steigen dieſen Stollen erreichte, es allmälig abfließen könne. Dieſer Stollen wurde mit großer Anſtrengung glücklich vollendet und das allmälig angewachſene Waſſer floß einige Tage lang nach Wunſch langſam ab. Aber eine um die Mitte des Juni 1818 eingetretene große Hitze wirkte auf den Eisdamm ſo ſtark, daß theils dadurch, theils durch den Sturz des Waſſers der geöffnete Waſſerlauf ſich an der von dem See abgewandten Seite immer mehr und immer weiter gegen den See fortrückend vertiefte. Endlich am 16. Juni bahnte das Waſſer des Sees ſich einen ungefähr 80 Fuß tiefen Durchbruch, aus welchem das

Waſſer mit der größten Gewalt hinabwärts ſtürzte. Und hier zeigte ſich nun die Gewalt des Waſſerſtoßes ſo groß, daß die größten Felsſtücke, auf dem Waſſer ſchwimmend, mit fortgeriſſen, Brücken und feſte Mauern in einem Augenblicke zerſtört, die Felſenwände zertrümmert und ganze Wälder vernichtet wurden. Die Trümmer von Felſen, Wäldern und Häuſern wurden gleich einem Berge von 300 Fuß Höhe von der wild heranwogenden Waſſermaſſe fortgeſchoben, deren Geſchwindigkeit ſo groß war, daß ſie gegen 2000 Fuß in 1 Min. zurücklegte. [1]

Aber ſo ſehr auch dieſes Ereigniß uns groß und furchtbar erhaben von der einen, grauenvoll und ſchrecklich von der andern Seite erſcheint, ſo dürfen wir doch wohl glauben, daß es nur ein ſehr ſchwaches Nachbild derjenigen Ereigniſſe war, die bei der großen Umbildung unſrer Erde ſtatt gefunden haben müſſen; Ereigniſſe, von denen keine Geſchichte Kunde giebt, von denen aber die Felſentrümmer zeugen, die wir durch weit ausgedehnte Gegenden zerſtreut finden. Nach Sauſſure und von Buch liegen die aus einem dem Jura fremden Geſtein beſtehenden Geſchiebe des Jura, die bis zu 30000 Centnern an Gewicht vorkommen, alle den großen Alpenthälern gegenüber und ſcheinen durch Ströme von ungeheurer Kraft ſo weit fortgeſtoßen zu ſeyn. Auf ähnliche Weiſe, aber mit noch größerer Gewalt, mögen die zahlloſen Granitmaſſen, die in den Ebenen des ganzen nördlichen Deutſchlands zerſtreut vorkommen, aus Schweden herbeigeführt ſeyn; wenigſtens deuten viele, wohl nicht anders erklärbare Spuren in Schweden ſelbſt, nämlich eingeriſſene Furchen auf dem Felsboden, welche die fortgetriebenen Blöcke hinterließen, auf ein ſolches Ereigniß hin. — Freilich müſſen dieſe Strömungen, für deren weite Verbreitung auch in Nordamerica ſolche einzeln liegende Felsblöcke ſprechen, den Durchbruch im Bagnethale noch ebenſo ſehr an Gewalt übertroffen haben, als dieſer gewöhnliche Bergſtröme übertrifft.

Widerſtand bei der Bewegung feſter Körper in flüſſigen.

Auf denſelben Gründen, die ich bei der Beſtimmung des Stoßes flüſſiger Körper angeführt habe, beruht auch die Berechnung des Widerſtandes, den feſte Körper leiden, wenn ſie in flüſſigen fortbewegt werden. Es iſt bekannt, daß eine ſchwere Kugel im Waſſer ſehr langſam zu Boden fällt; dieſes iſt zwar theils Folge ihres im Waſſer verminderten Gewichtes, aber theils beruht es auch auf dem Widerſtande, den ſie dadurch, daß ſie die Waſſertheilchen aus der Stelle treiben muß, leidet. Die Frage, welche Geſtalt man einem Körper geben muß, damit er, im Waſſer fortgeführt, den kleinſten Widerſtand bei beſtimmter Breite leide, iſt eine von denen, die man zum Beſten der Schiffbaukunſt zu beantworten geſucht hat und auf welche allerdings, ſo weit es andere Forderungen geſtatten, beim Bau der Schiffe Rückſicht genommen wird. Es iſt nämlich einleuchtend, daß eine ganz ebene, dem Waſſer ſenkrecht

[1] Die höchſt intereſſante Schilderung dieſes Ereigniſſes verdient ſehr, daß man ſie in Gilb. Ann. Band 60. nachleſe.

entgegengeführte Fläche mehr Widerſtand leidet, als eine eben den Waſſerquerſchnitt aus der Stelle treibende gewölbte oder kegelförmig zugeſchärfte, das Waſſer durchſchneidende Fläche, und hieran knüpft ſich die Beſtimmung der Fläche, die den geringſten Widerſtand darbietet.

Da es für die Wirkung des entſtehenden Stoßes faſt gleichgültig iſt, ob Waſſer mit beſtimmter Geſchwindigkeit gegen eine feſtſtehende Fläche ſtrömt, oder ob ſich dieſe Fläche mit derſelben Geſchwindigkeit gegen das ruhende Waſſer bewegt, ſo läßt ſich bei ebenen Flächen aus ihrer Größe und Geſchwindigkeit der Widerſtand ebenſo berechnen, wie die Kraft des Waſſerſtoßes; beſonders geht aber hieraus das allgemeine Reſultat hervor, daß der Widerſtand der Größe der Fläche, die ihn überwindet, und dem Quadrate der Geſchwindigkeit proportional iſt. Hierauf beruht die Möglichkeit, Schiffe durch umgedrehte Ruderräder fortzubewegen, wobei, ſobald das Schiff eine gleichmäßige Bewegung angenommen hat, der Widerſtand, den die Vorderfläche des Schiffes findet, ebenſo groß ſeyn muß, als der Widerſtand, den die Schaufeln der Räder überwinden. Bewegen ſich nun dieſe Schaufeln dreimal ſo ſchnell gegen das Waſſer, als das Schiff ſelbſt, ſo erfährt jeder Quadratfuß der Schaufeln einen neunmal ſo großen Widerſtand, als ein Quadratfuß an der Vorderfläche des Schiffes, wenn dieſe eben wäre; es kann daher letztere wenigſtens neunmal ſo groß ſeyn als der untergetauchte Theil der Schaufeln. Anſtatt der Räder, die nur mit einigen Schaufeln zugleich greifen, hat man in neuerer Zeit nicht ohne Vortheil Räder mit ſchief ſtehenden Flügeln, faſt ſo wie bei dem Strommeſſer, oder auch ſchraubenförmig gewundene Flächen angewandt, welche beide ganz unter Waſſer ſind und um eine horizontale Axe gedreht werden. Daß dieſe ſchief gegen das Waſſer ſtoßenden Flächen auch das Schiff forttreiben müſſen, läßt ſich aus der Analogie des Strommeſſers leicht überſehen, denn ebenſo wie dort das bewegte Waſſer den urſprünglich ruhenden Flügel fortſtößt, ebenſo muß umgekehrt der Flügel, wenn er bewegt wird, einen Stoß gegen das ruhende Waſſer ausüben, und durch dieſen treibt er das Schiff nach der entgegengeſetzten Seite fort. Auch die Einwirkung des Steuers beruht auf dieſem Widerſtande und iſt daher deſto größer, je ſchneller das Schiff ſich in ruhendem Waſſer oder gegen den Strom bewegt; ſie verſchwindet dagegen ganz, wenn das Schiff in fließendem Waſſer treibt und ſich alſo ebenſo ſchnell bewegt, als das umgebende Waſſer.

Der Widerſtand, den ſeinerſeits das Waſſer findet, wenn es gegen feſte Körper ſtrömt, wird häufig an entſtehenden Wirbeln und Strudeln bemerkbar. Die in ihrem Laufe aufgehaltenen Theilchen b (**IV. Fig. 7**) bleiben hinter den in a vorbeigehenden zurück, und dieſe nehmen daher einen gekrümmten Lauf, ſo wie es die Figur zeigt, an. Wenn der Unterſchied der Bewegung groß genug iſt, entſteht an ſolchen Stellen eine völlig kreisförmige Bewegung, wobei das Waſſer, durch die Schwungkraft nach außen gedrängt, eine trichterförmig vertiefte Oberfläche bildet und die auf derſelben hinabgleitenden feſten

Körper verſchlingt. Da wo im Meere dieſe Strudel groß und dauernd ſind, werden ſie durch zufällige Beengungen der Meeresſtröme oder des Fluthſtromes hervorgebracht; indeß ſind die Nachrichten von ſolchen Strudeln aus älteren Zeiten wohl meiſt übertrieben.

Rückwirkung.

Der letzte Gegenſtand, den ich als die Bewegung tropfbar flüſſiger Körper betreffend Ihnen vorzutragen habe, iſt diejenige Wirkung beim Ausfließen des Waſſers, welche man die Rückwirkung nennt. Sie wiſſen, daß ein mit ruhendem Waſſer gefülltes Gefäß deswegen keine Neigung, nach einer oder der andern Seite hin auszuweichen, zeigt, weil der nach zwei entgegengeſetzten Seiten wirkende Druck genau nach beiden Seiten gleich iſt. Bringt man aber nun in einer Wand eine Oeffnung an, ſo fällt hier ein Theil des Seitendruckes weg, und das Gefäß wird durch Rückwirkung nach der entgegengeſetzten Seite getrieben. Um dieſe Wirkung durch ein Experiment zu zeigen, muß man ſich begnügen, eine kleine Oeffnung anzubringen, damit der Waſſerverluſt nicht zu ſchnell die Wirkung ſchwäche; da aber bei einer kleinen Oeffnung auch die Größe dieſer Rückwirkung gering iſt, ſo muß man ſorgen, ſie auf andere Weiſe merklicher zu machen. Hiezu dient eine Vorrichtung, die dem Gefäße ſelbſt eine drehende Bewegung erlaubt. Es ſey das Gefäß (IV. Fig. 8) A B, deſſen hohler Raum ſich durch E bis zu den Seitenarmen F, G erſtreckt, ſo mit der verticalen Axe C D verbunden, daß es ſich um dieſe Axe ſehr leicht dreht. Dieſes Gefäß habe an der Vorderſeite des Armes G und an der Hinterſeite des Armes F eine kleine Oeffnung, ſo daß beim Füllen des Gefäßes ſogleich aus beiden Oeffnungen ein horizontaler Waſſerſtrahl hervorgehe, ſo wird eine Drehung des Armes G von uns abwärts, eine Drehung des Armes F gegen uns zu entſtehen, weil die Hinterſeite des Armes G einen ſtärkern Druck, als die mit einem Loche zum Ausfließen verſehene Vorderſeite leidet und eben das an dem andern Arme auf ähnliche Art ſtatt findet. Man hat dieſe Einrichtung im Großen ausgeführt und zum Betreiben von Maſchinen unter dem Namen des Segner'ſchen Waſſerrades angewandt, aber nicht vortheilhaft genug gefunden.

Die Rückwirkung zeigt ſich bei luftförmigen, plötzlich hervordringenden Körpern ganz auf ähnliche Art; ſo bei der Umdrehung der Feuerräder, wobei freilich der Stoß des explodirenden Pulvers gegen die umgebende Luft mitwirkt, vorzüglich aber bei dem Zurückprallen der Kanone im Augenblicke des Abfeuerns. Hier entwickelt ſich nämlich ein elaſtiſch flüſſiger Körper, der, wenn die Kanone überall verſchloſſen wäre, einen heftigen Druck nach allen Seiten ausüben würde, deſſen große Wirkung ſich uns aber bei dem freien Hervorſtrömen aus der Mündung dadurch zeigt, daß der Druck auf den der Oeffnung entgegenſtehenden Boden mächtig genug iſt, die ganze, mit ſo bedeutender Reibung auf dem Boden widerſtehende Kanone fortzutreiben. Wird eine Kugel abgeſchoſſen, ſo kann der alsdann noch ſtärkere Rückſtoß dienen,

um die Geſchwindigkeit der Kugel zu berechnen, da ſich, wenn die Kugel zum Beiſpiel $1/_{100}$ der ganzen Kanone wiegt, die Geſchwindigkeit der Kugel als 100 mal ſo groß in Vergleichung gegen die Geſchwindigkeit des Rückſtoßes ergeben würde.

Compreſſion des Waſſers.

Bei allen bis jetzt mitgetheilten Unterſuchungen durfte ich das Waſſer ſo betrachten, als ob es gar keiner Zuſammenpreſſung fähig wäre; da aber dieſes nicht ganz der Fall iſt, ſo muß ich Ihnen doch die in neuern Zeiten öfter und ſorgfältiger wiederholten Verſuche erzählen, welche einige Compreſſibilität des Waſſers zeigen. Da die Zuſammendrückung hier immer gering iſt, ſo hat man ſich meiſtens ſtarker Kräfte bedient, um einige bedeutende Wirkung zu erhalten; aber Pfaff hat ein ſinnreiches Verfahren angegeben, das ſelbſt bei kleinem Drucke die ungleiche Ausdehnung des Waſſers zeigt. Er bedient ſich dazu eines, oben in ein ſehr enges Röhrchen E F ausgehenden Gefäßes A B (IV. Fig. 9), das mit der hohen Röhre C D in Verbindung geſetzt, aber auch durch vollkommen dichte Hähne a, b an beiden Enden geſchloſſen werden kann. Läßt man beide Hähne offen und füllt die Röhre C D bis an den Nullpunkt, ſo ergiebt ſich auch an der engen Röhre E F der richtige Nullpunkt. Jetzt ſchließt man den Hahn a, füllt die andre Röhre bis zur Höhe von einigen Zollen über den Nullpunkt und ſchließt den Hahn b. Es iſt gewiß, daß jetzt das Waſſer im Gefäße diejenige Dichtigkeit angenommen hat, die dem Drucke der Waſſerſäule in C D entſpricht, und daß es dieſe Dichtigkeit, durch die Hähne von allen Seiten eingeſchloſſen, auch behält; öffnet man aber den Hahn a, ſo leidet das Waſſer an der Mündung der engen Röhre E nicht den ebenſo großen Druck, wie vom Innern des Gefäßes her, und wird daher, obgleich aller Zufluß durch den Hahn b gehindert wird, ein wenig in dem engen Röhrchen hinaufſteigen, wenn irgend die Compreſſion dazu erheblich genug war. Dieſe Verſuche erlauben eine große Genauigkeit, weil eine Linie der engen Röhre nur wenig über ein Milliontel der im Gefäße A B enthaltenen Waſſermaſſe enthält und daher ein Steigen von 4 Linien, wie Pfaff es bei einer durch 20 Zoll Waſſerhöhe bewirkten Compreſſion beobachtete, einer Zuſammendrückung, die nur ungefähr $1/_{200000}$ iſt, entſpricht. Stärkere Preſſungen haben Oerſted, Perkins, Sturm und Colladon angewandt und ſich dabei des Piezometers bedient, eines Inſtrumentes, das aus einer ſehr feinen, überall gleich weiten Röhre A B (IV. Fig. 10) und einem daran angeſchmolzenen Gefäße B C beſteht. Dieſes Inſtrument wird bis zu ſeinem Nullpunkte mit der zu prüfenden Flüſſigkeit gefüllt und dann in einer Röhre D F E von ſtarkem Glaſe, in welcher die Luft durch eine Compreſſionspumpe bei E verdichtet werden kann, eingeſchloſſen. Indem man nun durch den bei E angebrachten Kolben die das Inſtrument A B C umgebende Luft zuſammenpreßt, ſo leidet auch die in dieſem offenen Gefäße A B C enthaltene Flüſſigkeit eben den Druck und geht in einen engern Raum, den

man an der Scale wahrnimmt [1], zuſammen; das Gefäß A B C aber, welches von innen und außen gleichen Druck leidet, kann weder zerſprengt werden, noch auch ſeinen innern Raum erheblich verändern (wenigſtens nur um ſo viel, als das von beiden Seiten der Wände ſtark gedrückte Glas ſein Volumen ändert), und wenn alſo zum Beiſpiel eine Linie der Röhre A B ein Millliontel des Gefäßes C beträgt, ſo laſſen ſich die Milliontel der Raumänderung noch wahrnehmen. Noch beſſer iſt die ähnliche, beſonders von Oerſted gebrauchte Einrichtung des Inſtrumentes, wo man das mit Waſſer gefüllte Gefäß ABC umgekehrt mit der Oeffnung der Röhre in ein Gefäß mit Queckſilber tauchen läßt und den übrigen Raum des Cylinders F D auch mit Waſſer füllt. Durch eine Druckpumpe wird dann Waſſer in den Cylinder FD hineingedrängt, der Druck pflanzt ſich durch das Waſſer zu der Queckſilberfläche fort und treibt etwas Queckſilber in die enge Röhre AB hinein, ſo daß man an der Stellung des Queckſilbers in der Röhre die Compreſſion, die in dem Gefäße ABC ſtatt fand, erkennen kann. Die Stärke des angewandten Druckes kann zugleich dadurch ſehr bequem gemeſſen werden, daß man in daſſelbe Queckſilbergefäß auch eine mit Luft gefüllte Röhre eintaucht, aus deren viel ſtärkerer Zuſammenbrückung, wie wir ſpäter ſehen werden, ſehr leicht auf den ſtatt findenden Druck geſchloſſen werden kann. Aus Oerſted's Verſuchen geht hervor, daß die Zuſammendrückung des Waſſers bei einem ſolchen Drucke, wie ihn eine Waſſerſäule von 32 Fuß Höhe ausübt, und bei einer von der Gefrierkälte wenig verſchiedenen Temperatur (+ 4° R) 46 bis 47 Milliontel des Volumens beträgt; die Verſuche wurden ausgedehnt bis zum 70fachen dieſes Druckes, wobei die Compreſſion, abgeſehen von einer kleinen durch die Wärme bewirkten Aenderung, gleichmäßig mit dem Drucke zunahm und zuletzt mehrere Tauſendtel des Volumens betrug.

Die großen Vorſichten, die bei dieſen Verſuchen nöthig ſind, die Entfernung aller Luft aus dem Innern des mit der Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes, die Vermeidung der geringſten Aenderung der Temperatur, die Berückſichtigung der geringen Zuſammendrückung, welche die Wände des Gefäßes erleiden, u. ſ. w. kann ich hier nur obenhin erwähnen; aber die Verſuche ſind genau genug angeſtellt und ſtimmen unter ſich ſo gut überein, daß man ihnen vollkommenes Vertrauen ſchenken darf. Daß aber dieſe Zuſammendrückung gering genug iſt, um bei allen den Phänomenen, die wir bis dahin betrachtet haben, als ganz unbedeutend bei Seite geſetzt zu werden, das erhellt wohl von ſelbſt, und wir können alſo immer noch vom Waſſer als einer der Zuſammendrückung nicht empfänglichen Materie reden und es der elaſtiſchen Luft entgegenſetzen, wenn gleich in den Tiefen von 1000 Fuß, wohin die Wallfiſche ſich zuweilen im Meere begeben, die Verdichtung des Waſſers doch wohl über ein Tauſendtel (immer wenig genug) betragen kann.

[1] Sind die Wände der Röhre EFD nicht durchſichtig, ſo muß man in dem Röhrchen A B ein Mittel anbringen, um den Ort zu bezeichnen, den die Flüſſigkeit bei der Compreſſion erreicht hatte.

Funfzehnte Vorleſung.

Beweiſe für die Elaſticität der Luft.

Schon früher hatte ich Gelegenheit, die Verſchiedenheit zu bezeichnen, welche zwiſchen den tropfbaren und elaſtiſchen Flüſſigkeiten ſtatt findet; ſie zwingt uns, den Erſcheinungen des Gleichgewichts und der Bewegung bei letzteren eine beſondere Betrachtung zu widmen. Daß vor allen die atmoſphäriſche Luft zu den elaſtiſchen Flüſſigkeiten gehört, läßt ſich aus den gewöhnlichſten Erfahrungen abnehmen. Wenn wir eine am einen Ende verſchloſſene cylindriſche Röhre nehmen und am offenen Ende einen dicht ſchließenden Kolben hineintreiben, ſo läßt dieſer ſich mit gehörig angewandter Gewalt ziemlich tief hineindrängen; aber ſobald der Druck nachläßt, treibt die zuſammengepreßte Luft ihn zurück. Wenn eine mit Luft ganz gefüllte und feſt zugebundene Blaſe durch ein aufgelegtes Gewicht zuſammengedrückt wird, ſo leidet gewiß die darin enthaltene Luft eine Zuſammenpreſſung, oder Verdichtung; aber bei nachlaſſendem Drucke zeigt ſich auch die Blaſe wieder ganz gefüllt, indem die Luft ihren vorhin eingenommenen Raum wieder ausfüllt. Wenn man ein hohes, oben geſchloſſenes Glas mit feiner Mündung ins Waſſer hinabdrückt, ſo zeigt ſich uns zwar die darin enthaltene Luft dadurch, daß ſie den Eintritt des Waſſers in das Glas hindert, als undurchdringlich; aber ſie zeigt ſich uns zugleich als merklicher Zuſammendrückung fähig, indem das Glas, tief hinabgedrückt, einiges Waſſer einläßt, aber wieder ganz leer iſt, wenn man es höher heraufzieht, alſo den Druck des Waſſers auf die im Glaſe enthaltene Luft vermindert.

Hier ſehen wir nur eine Verdichtung der Luft und ihre Rückkehr zum natürlichen Zuſtande; aber auch eine Verdünnung können wir wahrnehmen. Brächten wir, um dieß nur ganz einfach zu zeigen, in der bei A geſchloſſenen Röhre (IV. Fig. 11), die bis B C mit Waſſer gefüllt iſt, bei D einen eng ſchließenden Kolben an, ſo zieht ſich das Waſſer dem Kolben nach, indem man ihn nach E fortrückt, und die Luft hat offenbar ſtatt des Raumes A B den ganzen Raum A F eingenommen, wenn man ihr, durch Zurückziehung des Kolbens und Wegſchaffung des äußern Druckes, dazu die Veranlaſſung giebt. Und dieß geſchieht nicht etwa, weil die Schwere der in A B enthaltenen Luft das Waſſer herabdrückt, ſondern es würde auch nach jeder Richtung ſtatt finden. Durch dieſen Verſuch ſcheint ein Unterſchied zwiſchen der Elaſticität der Luft und der anderer Körper nachgewieſen zu werden, indem die Luft ſich ganz von ſelbſt ausdehnt, wenn ihr nur ein größerer Raum dargeboten wird, während bei andern Körpern auch die Ausdehnung eine Kraft erfordert. Die Urſache dieſes ſcheinbaren Unterſchiedes iſt aber die, daß wir die Luft überall, wo wir ſie beobachten können, ſchon in einem zuſammengedrückten Zuſtande vorfinden, ſo daß ſie ſich alſo gleich ausdehnen muß, ſowie nur die zuſammendrückende Kraft etwas nachläßt.

Permanente Gaſe und Dämpfe.

Die zahlreichen elaſtiſch flüſſigen Körper ſondern ſich in zwei große Claſſen, deren Unterſcheidung aber vielleicht mit der Zeit ganz aufgegeben werden muß und ſchon jetzt immer zweifelhafter wird, je mehr die Phyſiker die beliebige Abänderung des Druckes und der Temperatur in ihre Gewalt bekommen. Permanente Gaſe nennt man alle luftförmigen Körper, die ſelbſt bei dem ſtärkſten Drucke und den niedrigſten Temperaturen, die ſich hervorbringen laſſen, doch ihre Luftform behaupten und nur dichter und elaſtiſcher werden; dahin gehören die atmoſphäriſche Luft, Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff und viele andere. Dämpfe hingegen nennt man diejenigen luftförmigen Körper, deren Dichtigkeit und Elaſticität bei jeder Temperatur nicht über eine beſtimmte, von der Temperatur abhängige Grenze wachſen kann, und die daher, ſobald der Druck für die grade ſtattfindende Temperatur zu ſtark wird, ſich zum Theil zu einer tropfbaren Flüſſigkeit condenſiren, bis die hierdurch verminderte und ausgedehnte Dampfmenge die äußerſte, bei der Temperatur noch mögliche Dichtigkeit angenommen hat. Die äußerſte mögliche Dichtigkeit iſt deſto größer, je höher die Temperatur iſt; daher können ſolche Dämpfe entweder bei gleichbleibender Temperatur durch verſtärkten Druck oder bei gleichbleibendem Drucke durch Abkühlung in tropfbare Flüſſigkeiten verwandelt werden, und da die ſtärkſten angewandten Druckkräfte und die tiefſten Temperaturen doch immer noch übertroffen werden können, ſo kann man nicht wiſſen, ob nicht die Gaſe, die wir jetzt für permanente halten, doch endlich auch noch in tropfbare Flüſſigkeiten verwandelt werden könnten. Zu den luftförmigen Körpern dieſer zweiten Art gehören erſtens alle diejenigen Dämpfe, die ſich durch die Verdampfung der tropfbaren Flüſſigkeiten als vollkommen durchſichtige, elaſtiſche Flüſſigkeiten entwickeln, außerdem aber eine Anzahl von Gaſen, die man früher für permanente hielt, z. B. das von Faraday auf eine eigenthümliche Art verdichtete Chlorwaſſerſtoffgas. Er nahm eine gebogene Röhre mit ſehr ſtarken Wänden, füllte ſie in der Stellung A C (IV. Fig. 29) etwa bis an B mit Schwefelſäure, ohne den oberen Theil A D im geringſten zu benetzen, brachte dann ein Platinblättchen etwa nach E hinab, um darauf etwas Salmiak bis zu gehöriger Zeit ruhen zu laſſen, und ſchmolz nun das Ende A vor dem Löthrohre zu. Nachdem dieß gehörig beſorgt und die Röhre wieder abgekühlt war, brachte er durch Umkehren die Röhre in eine ſolche Stellung, daß die Säure den Salmiak erreichte, wobei ſich durch Zerſetzung beider ſehr heftig und in großer Menge Chlorwaſſerſtoffgas entwickeln mußte. Da dieſe Luft nirgends hin entweichen konnte, ſo verdichtete ſie ſich, und ungeachtet des großen Druckes, den ſie deshalb ausübte, ging die Entwickelung neuer Luft noch immer, obgleich mit verminderter Gewalt, fort; nach einigen Tagen ſah man eine neue Flüſſigkeit durch die Condenſation dieſer Luft entſtehen, die man durch Abkühlung noch deutlicher und mehr geſammelt hervorbringen konnte, wenn man die Röhre in die Stellung

a d c, und d c in eine Eismiſchung brachte. Unter den übrigen Gaſen, die ſich zu tropfbaren Flüſſigkeiten verdichten laſſen, will ich nur die Kohlenſäure erwähnen, welche bei 0° Wärme dann flüſſig wird, wenn man ſie durch Druckpumpen oder auf irgend eine andere Art einem Drucke von 543 preuß. Pfunden auf den preuß. Quadratzoll ausſetzt, die aber ſogleich mit einer Explosion in ihre Luftform zurückkehrt, wenn der Druck plötzlich nachläßt.

Abhängigkeit der Elaſticität von der Dichtigkeit.

Auf jeden Fall brauchen Gaſe und Dämpfe für unſre jetzigen Betrachtungen nicht unterſchieden zu werden, ſo lange ſich nicht die letzteren zu ſehr ihrem Condenſationspunkte nähern, und ſie ordnen ſich beide dem allgemeinen für die Flüſſigkeiten gültigen Geſetze unter, daß im Zuſtande des Gleichgewichts jeder von außen ausgeübte Druck an jeder Stelle der Flüſſigkeit gleich ſtark, und daher der gedrückten Fläche proportional, wirkt. Hiezu kommt aber das zweite, für die elaſtiſchen Flüſſigkeiten ausſchließlich geltende Geſetz, daß die Dichtigkeit einer eingeſchloſſenen Luftmaſſe ſtets dem Drucke, unter dem ſie ſich befindet, proportional iſt, oder, was daſſelbe iſt, daß man, um eine Luftmaſſe auf die Hälfte ihres Volumens zuſammenzudrücken, doppelt ſo viel Kraft braucht, als urſprünglich auf dieſelbe wirkte; um ſie bis auf $\frac{1}{20}$ ihres Volumens zu verdichten, die zwanzigfache Kraft u. ſ. f. Von der Richtigkeit dieſes zuerſt durch Mariotte aufgeſtellten und nach ihm benannten Geſetzes kann man ſich durch einen einfachen Verſuch überzeugen. Sey eine bei C geſchloſſene Röhre (IV. Fig. 18) in ihrem unterſten Theile A B mit einer geringen Queckſilbermenge gefüllt, ſo daß eine gewiſſe Luftmaſſe A C dadurch abgeſperrt wird, die für jetzt nur denſelben Druck erfährt, den die geſammte über uns befindliche Atmoſphäre auf alle Körper hervorbringt. Gießt man dann bei B mehr Queckſilber auf, ſo ſteigert ſich dadurch der Druck, das Volumen der eingeſchloſſenen Luft nimmt ab, und wenn die Queckſilberoberfläche z. B. nach D gelangt wäre, ſo daß $AD = \frac{1}{3}\,AC$, ſo müßte der Unterſchied der Queckſilberhöhen D und E oder die Linie FE 14 Zoll betragen; ſollte die Luft nur noch die Hälfte ihres urſprünglichen Raumes, alſo G C, einnehmen, ſo müßte die drückende Queckſilberſäule 28 Zoll, alſo bis H, geſtiegen ſeyn. Da man nun aus gleich zu erwähnenden Verſuchen weiß, daß der gewöhnliche Druck, den die Atmoſphäre überall hervorbringt, ſo ſtark wirkt, als der Druck einer Queckſilberſäule von 28 Zoll Höhe, ſo ſieht man leicht, daß die eingeſchloſſene Luft bei dem gewöhnlichen Drucke den Raum A C, bei einem noch dazu kommenden halb ſo ſtarken Drucke, alſo bei $1\frac{1}{2}$fachem Geſammtdrucke $\frac{2}{3}$ des Raumes, bei doppeltem Drucke den halben Raum, bei 20fachem Drucke $\frac{1}{20}$ des Raumes einnimmt u. ſ. w. Dieſes Geſetz iſt ganz nach Art des eben beſchriebenen Verſuches durch Mariotte, Dulong und Arago bis zu dem 30fachen des gewöhnlichen Druckes geprüft worden. Oerſted hat mit Hülfe eines andern Verfahrens die Prüfung noch weiter fortgeſetzt, und das Geſetz bis zum 110fachen des Luftdruckes beſtätigt gefunden; daſſelbe

Geſetz findet aber auch dann ſeine Anwendung, wenn die Luft unter Einwirkung von Kräften, welche ſchwächer ſind als der gewöhnliche Luftdruck, bis zu beliebigem Grade ausgedehnt wird. Hiervon giebt folgender Verſuch den Beweis, zu welchem eine zweiſchenklige Röhre A B C (IV. Fig. 19) dient, die ſich an einem Ende C luftdicht verſchließen läßt. Man fülle die Röhre, während ſie noch ganz offen iſt, bis D und E mit Queckſilber, verſchließe ſie dann bei C und nehme ſo viel Queckſilber bei D heraus, daß die andere Oberfläche bis nach F ſinkt und die eingeſchloſſene Luft C E ſich alſo auf den doppelten Raum C F ausgedehnt hat; dann wird die Oberfläche in G um 14 Zoll niedriger als in F ſtehen, und daraus ſich ergeben, daß der auf G ausgeübte Druck der Atmoſphäre einem Drucke von 14 Zoll Queckſilber nebſt dem Drucke der eingeſchloſſenen, halb ſo dichten Luft das Gleichgewicht hält; dieſer letztere erſetzt alſo den Druck von 14 Zoll Queckſilber und iſt halb ſo ſtark als der gewöhnliche Luftdruck. Nehmen wir abermals bei G Queckſilber weg, ſo lange bis die Luft in C H einen dreimal ſo großen Raum einnimmt, als ſie bei natürlicher Dichtigkeit einnahm, ſo finden wir die Oberfläche J um $18\frac{2}{3}$ Zoll tiefer, als die Oberfläche H; die verdünnte Luft in C H hält nämlich nur noch eine Queckſilberſäule $= \frac{1}{3} . 28 = 9\frac{1}{3}$ Zoll hoch, und dem geſammten äußern Drucke wird daher durch dieſen Druck und durch $18\frac{2}{3}$ Zoll Queckſilber das Gleichgewicht gehalten.

Abhängigkeit der Elaſticität von der Temperatur.

Wie mit zunehmender Verdichtung die Elaſticität oder der Gegendruck der Luft wächſt, ſo geſchieht dieß auch mit ſteigender Wärme, und dadurch wird erſtens bewirkt, daß erwärmte Luft bei gleichbleibendem Drucke ſich ausdehnt, bis ſie durch dieſe Verdünnung ſo viel an Elaſticität verliert, als ſie durch die Wärme gewann, und daß abgekühlte Luft bei gleichbleibendem Drucke ſich zuſammenzieht; zweitens aber, daß erwärmte Luft, wenn ſie ſich nicht ausdehnen kann, einen ſtärkern, abgekühlte Luft einen ſchwächern Druck auf die einſchließenden Wände ausübt. Die erſte Erſcheinung nimmt man ſehr leicht und deutlich wahr, wenn man in einer engen Röhre, an welche am einen Ende eine Kugel angeblaſen iſt, eine gewiſſe Luftmenge dadurch einſchließt, daß man einen Tropfen Queckſilber in die Röhre bringt. Hier bleibt während der kurzen Zeit eines Verſuches der Druck, der von außen auf die eingeſchloſſene Luft wirkt, ungeändert; erwärmt man dieſelbe daher durch irgend ein Mittel, ſo dehnt ſie ſich aus und ſchiebt den Tropfen hinaus; kühlt man ſie hingegen ab, ſo zieht ſie ſich zuſammen, und erlaubt dem Tropfen, ſich nach innen zu bewegen.

Druck der Luft.

Aus Allem geht hervor, daß die Luft die Dichtigkeit, die ſie irgendwo hat, nur einem beſtimmten, auf ſie ausgeübten Drucke verdankt, der ſich

freilich bei verſchiedener Temperatur etwas verſchieden finden würde. Auch die uns im Freien überall umgebende Luft hat alſo die Dichtigkeit, welche ſie beſitzt, durch irgend einen Druck, und das kann offenbar kein anderer ſeyn, als derjenige, den die über uns befindliche Luft auf die untern Schichten ausübt. Dieß überzeugt uns, daß die Luft ſchwer iſt, welches ſich auch durch andere Verſuche und Erfahrungen noch mehr beſtätigt.

Um dieſen Druck der Luft näher kennen zu lernen und endlich zur Abmeſſung deſſelben zu gelangen, wollen wir einen Verſuch näher ins Auge faſſen, der ſich uns leicht darbietet und den Jeder von Ihnen gewiß ſchon oft zu wiederholen Gelegenheit gefunden hat. Wir nehmen ein hohes Gefäß, ein Glas oder eine am einen Ende verſchloſſene Röhre A B, laſſen dieſes Gefäß, ganz unter Waſſer getaucht, ſich mit Waſſer füllen, und bringen nun die offene Mündung zu unterſt, um ſo das mit Waſſer gefüllte Gefäß mit dem geſchloſſenen Ende aus der umgebenden Waſſerfläche hervorzuheben, während die Mündung unter Waſſer bleibt; dann finden wir, daß wir ſo eine Waſſerſäule von bedeutender Höhe über die Oberfläche des Waſſers hervorheben können. Dieſe Waſſerſäule A B (IV. Fig. 12) drückt doch gewiß in B auf die mit der umgebenden Oberfläche C D gleich hoch liegenden Waſſertheilchen, und das Gleichgewicht könnte nicht beſtehen, wenn nicht ein anderer Druck auf C D dem Drucke jener Waſſerſäule das Gleichgewicht hielte; aber dieſer Druck kann kein anderer, als der ſeyn, welchen die Luft ausübt. Wenn das Gefäß A B keine ſehr große Höhe hat, ſo erhält es ſich ganz gefüllt, weil dann der Druck der Waſſerſäule A B noch lange nicht dem ganzen Drucke der Atmoſphäre gleich iſt; aber dieß muß offenbar ſeine Grenze haben. Um dieſe zu finden, wollen wir einige andere Verſuche unternehmen. Es ſey (IV. Fig. 13) eine ſehr lange Röhre A B mit ihrem einen Ende in Waſſer getaucht; ein dicht ſchließender Kolben C ſey bis auf die Oberfläche des Waſſers D E hinabgedrückt und werde nun in der Röhre hinauf gezogen. Da dieſer Kolben hindert, daß die Luft auf die Oberfläche des Waſſers in der Röhre drückt, ſo treibt der auf die freie Oberfläche D E wirkende Druck der Luft das Waſſer in der Röhre hinauf, ſo daß das Waſſer dem hinaufgezogenen Kolben folgt, ohne einen Zwiſchenraum frei zu laſſen; aber wenn man die Röhre über 32 Fuß hoch, in verticaler Richtung, nimmt, ſo hört dieſes Steigen auf, wenn der Kolben eine Höhe von ungefähr 32 Fußen erreicht hat, und bei noch weiterem Hinaufziehen bleibt ein von Luft und Waſſer leerer Raum unter dem Kolben. Der Verſuch mit einer 32 Fuß hohen Röhre iſt zu ſchwierig, um ihn oft zu wiederholen; aber da er zeigt, daß der Druck der Luft auf die Oberfläche D E ſo groß iſt, als der Druck einer 32 Fuß hohen Waſſerſäule, ſo dürfen wir ſchließen, daß eine Säule des faſt 14 mal ſo ſchweren Queckſilbers bei weit geringerer Höhe, bei etwa 28 Zoll Höhe, ſchon dem Drucke der Luft das Gleichgewicht halten wird. Wiederholen wir den vorigen Verſuch mit Queckſilber und bedienen uns einer etwa 30 Zoll hohen Glasröhre A B, ſo ſehen wir das Queckſilber ſteigen, aber bei einer

Höhe von ungefähr 28 Zoll bleibt es ſtehen, und der Kolben läßt, höher hinauf gezogen, einen luftleeren Raum unter ſich. Der Verſuch läßt ſich mit einer am Ende geſchloſſenen Röhre auch ſo wiederholen, daß man ſie ganz mit Queckſilber füllt, ihr offenes Ende mit dem Daumen verſchließt und ſie dann umgekehrt mit der Mündung in ein Gefäß mit Queckſilber taucht; nimmt man, ſobald die ganze Oeffnung ſich unter Queckſilber befindet, den verſchließenden Daumen weg, ſo ſenkt ſich zwar die Oberfläche des Queckſilbers in der Röhre, bleibt aber auf einer Höhe von ungefähr 28 pariſer oder 29 preuß. Zollen ſtehen, und hiermit haben wir eine vorläufige, vorhin ſchon angewandte Beſtimmung für die Größe des Luftdruckes, mit deren Genauigkeit wir uns bei vielen Wirkungen deſſelben ſchon begnügen können. Der Luftdruck wirkt hiernach im Allgemeinen ſo ſtark als das Gewicht einer über der gedrückten Fläche errichteten Queckſilberſäule von der angegebenen Höhe, d. h. für jeden preuß. Quadratzoll beträgt er faſt genau 15 preuß. Pfunde, auch wirkt er wie der Druck jeder andern Flüſſigkeit immer ſenkrecht auf die gedrückte Fläche, alſo ebenſo gut von unten nach oben bei einer nach unten gekehrten Fläche, als in irgend einer andern Richtung.

Erſcheinungen, die der Luftdruck hervorbringt.

Auf dieſem Drucke der Luft beruhen unzählige Phänomene in der Natur und unzählige, theils zu nützlichen Zwecken, theils zum Scherze ausgedachte Einrichtungen. Wenn man das an beiden Enden offene Gefäß A (IV. Fig. 20), den Stechheber, deſſen Oeffnung A eng genug iſt, um mit dem Daumen verſchloſſen werden zu können, ins Waſſer eintaucht, während beide Enden offen gelaſſen ſind, ſo füllt er ſich mit Waſſer; verſchließt man nun die obere Oeffnung mit dem Daumen und zieht die Röhre heraus, ſo bleibt das Waſſer in ihr hängen und fließt, weil die untere Oeffnung eng iſt, auch dann nicht aus, wenn man das ganze Inſtrument aus dem Waſſer hervorhebt; erſt wenn man die obere Oeffnung frei macht, alſo dem Drucke der Luft den freien Zutritt auf die obere Fläche geſtattet, fängt das Waſſer an auszufließen. Ganz ebenſo iſt es mit der Kunſt, das Waſſer im Siebe zu tragen, wo nämlich (IV. Fig. 21) der untere Boden A B mit vielen feinen Löchern durchbohrt iſt, durch welche das Waſſer nicht ausfließt, ſo lange man die obere Oeffnung C mit dem Finger verſchloſſen hält. Selbſt in einem etwas weitern Glaſe kann man das Waſſer durch den Druck der Luft erhalten, wenn man die Oeffnung vor dem Umkehren des Glaſes mit einem Blatte Papier bedeckt; dieſes hindert nämlich, daß, wie es ſonſt ſo leicht geſchieht, Wellen auf der untern Waſſerfläche entſtehen; denn wo dieſe entſtehen, wo auch nur in geringem Maaße die etwas tiefer herabbringende, dadurch alſo in dieſem Punkte einen größern Druck ausübende Waſſermaſſe mehr niederwärts drückt, als in den benachbarten Punkten, da fängt gewiß das Waſſer an auszufließen, während dicht daneben, in den weniger Druck leidenden Punkten, die Luft hinaufſteigt. Bei ſehr engen Oeffnungen findet ein ſolches Ausweichen der

Luft und des Waſſers neben einander nicht ſtatt, und deshalb können wir oft aus einem Glaſe mit engem Halſe keinen Tropfen Waſſer herausbringen, wenn wir es auch ſo halten, daß die Oeffnung zu unterſt iſt.

Dieſes Zurückhalten der Flüſſigkeit in einer unten offenen engen Röhre kann zu einem bequemen Mittel dienen, um ohne Verluſt bei ſehr genauen Abwägungen grade die Quantität in ein Gefäß zu bringen, welche man verlangt. Steht zum Beiſpiel das zu füllende Gefäß auf der Waagſchale, und der geringe Ausſchlag der Waage zeigt, daß nur noch eine ſehr geringe Quantität hinzuzuthun iſt, ſo taucht man eine enge Röhre in den noch übrigen Vorrath der Flüſſigkeit, füllt ſie, wie den Stechheber, und läßt durch ein ſehr kurzes Oeffnen des obern Endes nur grade ſo viel von der Flüſſigkeit, als man bedarf, in das auf der Waage ſtehende Gefäß tröpfeln, oder iſt ein wenig zu viel eingefüllt, ſo hebt man auf eben die Weiſe wenige Tropfen daraus weg.

Leslie's Inſtrument zur Beſtimmung der ſpecifiſchen Gewichte. (Stereometer.)

Ein merkwürdiges neues Inſtrument hat Leslie auf eben dieſe Principien gegründet. Bei der Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes der Körper blieb bisher inſofern eine bedeutende Lücke übrig, als man für Körper, die nur in Pulverform vorhanden ſind, oder die bei dem Eintauchen in Flüſſigkeiten Veränderungen erleiden, nicht gut im Stande war, das ſpecifiſche Gewicht zu finden. Dieſe Lücke auszufüllen dient Leslie's Inſtrument (IV. Fig. 30), das aus einer weiteren und einer engern Glasröhre beſteht. Die enge Glasröhre A E iſt an beiden Enden offen und oben bei A ſo genau abgeſchliffen, daß eine aufgelegte Glasplatte ſie vollkommen luftdicht ſchließt. Sie muß etwa 3 Fuß lang und im obern Theile etwa 5 Linien weit von A bis B, im untern Theile $2^1/_2$ Linien weit von B bis E ſeyn. In B befindet ſich eine Scheidewand B b, die eine enge Oeffnung und, von dieſer hinaufgehend, das enge, ganz offene Röhrchen f g hat. Wenn man zuerſt dieſe Röhre A E, an beiden Enden offen gelaſſen, mit dem untern Theile bis an B in das im Gefäße M enthaltene Queckſilber taucht, ſo füllt ſich die Röhre bis B, und der Raum A B bleibt mit Luft von natürlicher Dichtigkeit gefüllt. Man legt nun bei A die Glasplatte auf, und zieht die ſo oben luftdicht geſchloſſene Röhre langſam aus dem Queckſilber in die Höhe; dabei ſinkt nun freilich das Queckſilber in der engen Röhre, aber da die aus A B durch das Röhrchen f g gegen C hin vordringende Luft ſich verdünnt, ſo übt ſie weniger Druck als die freie Luft aus, und je mehr man die Röhre A E hervorzieht, deſto höher wird die Queckſilberſäule, die man über die umgebende Oberfläche hervorhebt. Man ſetze dieſes Heraufziehen ſo lange fort, bis man an der Scale, welche auf die enge Röhre aufgetragen iſt, das Queckſilber im Innern der Röhre genau halb ſo viele Zolle und Linien über dem äußern Queckſilber findet, als die Barometerhöhe zu der Zeit beträgt, und bemerke den Punkt D, wo dieſes ſtatt findet.

Die Röhre wird nun wieder hinabgelaſſen, die Glasplatte abgenommen und der zu unterſuchende Körper, Kohlenpulver zum Beiſpiel, in den obern Theil A B gethan, wobei man achtſam ſeyn muß, daß die enge Röhre nicht durch hineinkommenden Staub verunreinigt werde. Jetzt wird die Glasplatte wieder aufgelegt und das vorige Verfahren ganz genau ebenſo wiederholt; dabei findet man, daß ſchon, indem die Luft in A B ſich bis C ausgedehnt hat, die Höhe des Queckſilbers über der Oberfläche deſſelben in M halb ſo hoch, als die Barometerhöhe iſt. Da nämlich jetzt ein Theil des Raumes A B mit den feſten Theilen des Kohlenſtaubes gefüllt iſt, ſo hat weniger Luft, als vorhin, in demſelben ſeyn können; dieſe Luft, zur halben Dichtigkeit verdünnt, dehnt ſich daher nur bis C aus, und CD giebt das Volumen der ganzen Maſſe des Kohlenſtaubes an, weil BD dem Volumen derjenigen Luft gleich iſt, die den ganzen Raum AB füllte, B C dagegen demjenigen Volumen gleich iſt, welches die noch übrige, durch den Kohlenſtaub nicht verdrängte Luft einnimmt. So iſt alſo der genaue Raum, den alle feſte Theile des Kohlenpulvers einnehmen, beſtimmt, und wenn man bei der Verfertigung des Inſtruments ausgemeſſen hat, wie viele Gran Waſſer jeden Theil der Röhre füllen, alſo die Anzahl von Granen kennt, welche das den Raum C D füllende Waſſer wiegt, ſo hat man nun nur nöthig, auch den angewandten Kohlenſtaub abzuwägen, um zu wiſſen, in welchem Verhältniß ſein Gewicht gegen das Gewicht des Waſſers ſteht, oder das ſpecifiſche Gewicht deſſelben zu beſtimmen.

Leslie's Verſuche geben das merkwürdige Reſultat, daß Kohle, ſo leicht ſie uns auch wegen der vielen mit Luft gefüllten Poren ſcheint, doch über dreimal ſo ſchwer als Waſſer iſt, wenn man ſie auf dieſe Weiſe von der in ihr enthaltenen Luft befreit; dieſes Reſultat iſt beſonders deshalb merkwürdig, weil daraus erhellt, daß die ſpecifiſche Schwere des Diamants und andrer faſt ganz aus Kohlenſtoff beſtehenden Körper nicht ſo ſehr viel größer als das der Kohle iſt. Schreibpapier zeigte ſich bei dieſem Verfahren $1\frac{3}{4}$ mal ſo ſchwer als Waſſer, Weizenmehl $1\frac{1}{2}$ mal ſo ſchwer als Waſſer u. ſ. w.

Die Saugpumpe.

Daß unſre gewöhnlichen Saugpumpen durch den Druck der Luft wirkſam werden, habe ich ſchon in dem Experimente, das zur Abmeſſung des Druckes der Luft führte, angedeutet; jedoch iſt es nicht nöthig, daß, wie dort, der Kolben bis zur Oberfläche des Waſſers herabreicht. Sie ſind (IV. Fig. 22) mit zwei Ventilen verſehen, deren eines bei A B das Waſſer hereinläßt, aber den Zurückgang aus der Röhre hindert, das zweite dagegen, im Kolben ſelbſt angebracht, ſich nach oben öffnet, damit die unter dem Kolben enthaltene Luft oder das den Kolben ſchon erreichende Waſſer von unten hinaufwärts durchgehen, aber keine Luft von oben zudringen könne. Befand ſich nun der Kolben C D 12 Fuß hoch über dem Waſſer und wird er bis E F 4 Fuß höher gehoben, ſo kann die verdünnte Luft nicht mehr ganz dem Drucke der äußern Luft das Gleichgewicht halten, und eine probirend fortgeführte Rechnung

zeigt, wie hoch das Waſſer bei dieſem erſten Kolbenzuge ſteigt. Stiege es 2 Fuß bis G H, ſo wäre E G = 14 Fuß, und die in 14 Fuß ſtatt 12 Fuß ausgedehnte Luft leiſtete nur noch $^6/_7$ des ganzen Druckes der Atmoſphäre, den ich = 32 Fuß Waſſer annehme; dann alſo drückten in A 2 Fuß Waſſer und dazu die Luft mit $32 \cdot {}^6/_7 = 27^3/_7$ Fuß Druck. Dieß beträgt nur $29^3/_7$, und das Waſſer ſteigt alſo noch höher. Stiege es bis $2^1/_2$ Fuß, ſo wäre $E\,G = 16 - 2^1/_2 = 13^1/_2$ Fuß, und die vorhin auf 12 Fuß ausgedehnte Luft nähme jetzt $13^1/_2$ Fuß ein, ihr Druck wäre $= \frac{12}{13^1/_2} \cdot 32 = {}^{24}/_{27} \cdot 32 = 28^4/_9$; aber $2^1/_2 + 28^4/_9$ ſind noch nicht 32 Fuß. Stiege es $2^3/_4$ Fuß, ſo erhielten wir $2^3/_4 + \frac{12}{13^1/_4} \cdot 32 =$ beinahe 32. Alſo iſt $A\,G = 2^3/_4$ Fuß ſehr nahe die Höhe, die es erreicht. Nun wird der Kolben herabgeſtoßen, und der Raum $G\,C = 12 - 2^3/_4 = 9^1/_4$ Fuß bleibt mit Luft gefüllt. Rechnet man hier ebenſo, wie vorhin, ſo findet man, daß das Waſſer bei dem zweiten Zuge bis auf 5 Fuß ſteigt. Beim dritten Kolbenzuge nimmt die Luft den Raum I D = 7 Fuß zu Anfang ein, und das Waſſer ſteigt um 2 Fuß; beim Anfange des vierten Kolbenzugs nimmt die Luft nur noch 5 Fuß = L D ein, beim Anfange des fünften Kolbenzugs nur noch kaum 3 Fuß, und am Ende des fünften Zuges hat das Waſſer beinahe den Kolben erreicht. Sobald es den Kolben völlig erreicht hat, tritt es über ihn hinauf und wird dann weiter gehoben.

Das Einathmen der Luft und das Saugen mit dem Munde wird ebenfalls durch den Druck der Luft möglich. Wir erweitern nämlich die Bruſthöhle, wenn wir Luft einathmen wollen, und dieſe dringt dann durch Mund und Naſe in den ſo erweiterten Raum; bringen wir aber unſern Mund an eine Saugröhre, ſo ſteigt bei der Erweiterung der Bruſthöhle die Flüſſigkeit, in welche die Saugröhre eingetaucht iſt, durch den Druck der Luft herauf.

Der Heber.

Auch der Heber gehört ganz hieher. Der Heber, der aus einer gebogenen Röhre beſteht, ſoll gewöhnlich nur dazu dienen, die Flüſſigkeit über eine geringe Höhe hinüber zu heben, zum Beiſpiel den Wein eines ruhig liegenden Faſſes durch das oben liegende Spundloch abzuzapfen. Wenn man (IV. Fig. 23) am Ende A des Hebers ſaugt, oder, wo das nicht hinreichte, durch andere Mittel die Luft verdünnt, ſo treibt der Druck der Luft die Flüſſigkeit, welche das Ende B bedeckt, in der Röhre hinauf, und die ganze Röhre füllt ſich bis an A mit jener Flüſſigkeit; läßt man nun die Oeffnung A frei, ſo wird allemal, wenn ſie tiefer als die Oberfläche C D liegt, die Flüſſigkeit auslaufen. Es würde nämlich Ruhe ſtatt finden, wenn die Röhre auch bei A in eben jener Flüſſigkeit eingetaucht wäre und dieſe bis an E F reichte; bei geringerem Gegendrucke von außen findet das Ausſtrömen ſtatt, und dauert fort, weil der Luftdruck eine Trennung der Flüſſigkeit im Innern hindert, bis

in C D die Oberfläche ſo tief als die Oeffnung A geſunken iſt oder, wenn die Flüſſigkeit in der Gegend E F ſteigt, bis beide Oberflächen gleich hoch ſind.

Daß die Biegung des Hebers ſich nicht höher als 32 Fuß über das Niveau des Waſſers im Gefäße erheben darf, verſteht ſich von ſelbſt, da ſonſt der Luftdruck nicht mehr verhindern kann, daß bei der Biegung ein luftleerer Raum entſteht, und ebenſo erhellt, daß man das Waſſer vermittelſt des Hebers nie an einem höhern Punkte, als die Oberfläche des Waſſers C D iſt, zum Ausfließen bringen kann, ſondern daß der Zweck nur der ſeyn darf, das Waſſer über ein zwiſchenliegendes Hinderniß weg zu einem tiefern Punkte zu leiten.

Der Heber hat zu manchen kleinen Scherz-Experimenten Anlaß gegeben. Bringt man ihn nämlich ſo an, daß er (IV. Fig. 24) in der Säule A B verborgen liegt, ſo kann, ſo lange das Gefäß noch nicht bis an C D gefüllt iſt, gar kein Ausfließen ſtatt finden; füllt man aber das Gefäß bis über C D und hindert durch den an die Oeffnung A gehaltenen Finger den Ausfluß, ſo bleibt das Gefäß gefüllt, leert ſich aber ſogleich völlig aus, wenn man den bei A gehaltenen Finger wegnimmt, indem dann a b die hinaufgehende und b c die herabgehende Heberröhre iſt. Daß der Scherz darin beſteht, den, der das Gefäß gefüllt empfängt, durch die unvermuthete Ausleerung, während er es ruhig hält, zu überraſchen, erhellt leicht.

Die Natur ſcheint ſich zuweilen der Heberröhre zu bedienen, um ein ungleiches Abfließen der Gewäſſer hervorzubringen. Es giebt Quellen, die periodiſch Waſſer geben und dann eine Zeit lang zu fließen aufhören, nach einem gewiſſen Zeitverlaufe aber aufs Neue fortfließen. Dieſe Erſcheinung kann man ſich durch eine heberförmig an einander gereihte Folge von Röhren oder Höhlen erklären. Es ſey nämlich A B (IV. Fig. 25) ein Behälter, der ſeinen immer gleichen Zufluß anderswoher bei C empfängt, und D E F ſey eine Heberröhre, ſo wird das Waſſer bei F auszufließen anfangen, wenn der Behälter ſich bis an G H gefüllt hat; dann aber wird durch den Druck der Luft bei G H das Ausfließen in F auch dann noch unterhalten, wenn die Oberfläche wegen zu geringen Zufluſſes unter G hinabſinkt, und der Behälter leert ſich, während immer etwas Waſſer bei C zufließt, dennoch ganz bis an D aus. Nachdem dieß geſchehen iſt, hört das Abfließen auf, und die bei F Waſſer gebende Quelle ſcheint verſiegt zu ſeyn, bis das zuſtrömende Waſſer ein neues Anfüllen bis an G bewirkt hat. Auf ähnliche Weiſe erklärt man die Erſcheinungen des Czirknitzer Sees, der zu gewiſſen Jahreszeiten ganz frei von Waſſer wird und in deſſen Boden man Oeffnungen bemerkt, die zu ſolchen Zeiten dem Waſſer einen ſchnellen Abfluß geſtatten.

Noch einen ſehr merkwürdigen Vortheil kann uns der Heber gewähren. Wir wünſchen manchmal eine Flüſſigkeit, die ſich unter einer leichtern befindet, abzuzapfen, ohne dieſe mit abfließen zu laſſen, und dieß läßt ſich vermittelſt des Hebers ausführen. Man bringt nämlich eine enge Heberröhre (IV. Fig. 23) mit dem Ende B, während man A mit dem Finger geſchloſſen hält, durch

die obere Schicht hindurch, die man nicht ſtören will, ſaugt nun bei A, damit der Heber ſich mit der untern Flüſſigkeit fülle, und läßt die bei B eintretende Flüſſigkeit ausfließen, ſo kann man dieſe bei A ſammeln, ohne einen Tropfen der oben ſtehenden Flüſſigkeit mit zu bekommen.

Wirkung des Luftdruckes auf den menſchlichen Körper.

Auffallend könnte es ſcheinen, daß wir den mächtigen Druck, den die Luft ausübt, doch an unſerm Körper im Allgemeinen nicht wahrnehmen, obgleich, wenn wir die Oberfläche des Körpers zu 12 Quadratfuß annehmen, dieſer Druck von allen Seiten zuſammen ungefähr 26000 Pfund betragen würde. Dabei muß man aber bedenken, daß die im Innern des Körpers und in allen Poren befindliche Luft von innen einen ebenſo ſtarken Druck entgegenſetzt, daß alſo nur eine unmerkliche Zuſammendrückung jeder einzelnen kleinſten Faſer bewirkt wird, wenn die im Körper befindliche Luft mit der äußern von gleicher Dichtigkeit iſt. Merkbar wird dagegen dieſer Druck, wenn das eben verlangte Gleichgewicht nicht ſtatt findet, z. B. wenn man ſich in verdichtete oder verdünnte Luft begiebt, und dieß iſt mit eine Urſache der Unannehmlichkeiten, die mit dem Aufſteigen in einem Luftballon und andererſeits mit dem Niederſteigen in einer Taucherglocke verbunden ſind; andere Unannehmlichkeiten entſtehen freilich noch daraus, daß die Functionen des Athmens ſowohl in verdünnter als in verdichteter Luft ſehr erſchwert werden. Eine ganz eigenthümliche Wirkung ſcheint der Luftdruck bei unſern Gliedmaßen hervorzubringen; wenigſtens zeigen Weber's Beobachtungen, daß das Bein ganz eigentlich durch den Luftdruck, ohne Mitwirkung der Muskeln, getragen wird, indem der Luftdruck die beiden kugelförmigen Flächen des Hüftgelenks gegen einander drückt und ihre Trennung, durch die ſich ein luftleerer Raum zwiſchen beiden bilden würde, hindert. Hierdurch wird die freie Beweglichkeit des Beines weſentlich unterſtützt und die beſondere Ermüdung bedingt, die man unter dem Namen der Bergkrankheit auf hohen Bergen beobachtet, indem bei nicht ſo ſtark wirkendem Luftdrucke das Bein nicht mehr ganz getragen wird, ſondern durch die Muskeln, alſo mit Aufwand von Kraft, erhalten werden muß.

Luftſtrömungen, Winde.

Mit dem Drucke, den die Luft durch ihr Gewicht hervorbringt, hängt noch eine Claſſe von Erſcheinungen zuſammen, die ſich leicht den auf Flüſſigkeiten im Allgemeinen anwendbaren Geſetzen unterordnen laſſen. Wir ſahen früher, daß zwei ſich nicht miſchende tropfbare Flüſſigkeiten in einem Gefäße nur dann in Ruhe bleiben, wenn die leichtere die oberſte Schicht bildet, daß hingegen bei jeder andern Anordnung Strömungen eintreten müſſen, weil zwei gleich hohe Säulen von an Dichtigkeit verſchiedenen Flüſſigkeiten ſich nicht das Gleichgewicht halten können. Obgleich wir in der Luft wegen der ſo vollkommenen und leichten Vermiſchung verſchiedener Luftmaſſen die Bildung von

Schichten nicht wahrnehmen, ſo zeigt ſich doch die Gültigkeit des Geſetzes in dem Aufſteigen der erwärmten und dadurch leichter gewordenen Luft und in der Entſtehung von Strömungen, die denen in tropfbaren Flüſſigkeiten ganz analog ſind. Oeffnen wir die Thür eines geheizten Zimmers, während es außen kalt iſt, ſo entſtehen zwei Luftſtröme, deren einer oben die warme Luft nach außen, der andre unten die kalte Luft nach innen führt, wie ſich an der Bewegung einer in die Thür gehaltenen Lichtflamme zeigt. Eben den Luftzug bemerken wir am geheizten Ofen; die kältere Luft des Zimmers dringt nahe am Fußboden gegen den Ofen zu, am Ofen ſelbſt aber geht ein Strom hinaufwärts, den uns die aufwärts geführten Federn und andere leichte Körper zeigen. Der Zug in unſern Schornſteinen beruht auf denſelben Gründen, denn ſobald durch das Feuer im Ofen die Luft im Schornſteine erwärmt und alſo verdünnt worden iſt, bringt ſie einen ſchwächern Druck hervor als vorher und kann der äußern kalten Luft am unteren Ende des Schornſteins nicht mehr das Gleichgewicht halten; indem ſie nun dem ſtärkeren Drucke weicht, entſteht im Schornſtein ein von unten nach oben gerichteter Luftſtrom, der durch dieſelben Urſachen nun in Bewegung erhalten wird, und deſto ſtärker iſt, je höher der Schornſtein, je kälter die Luft außerhalb und je beſſer erwärmt ſie im Innern des Schornſteines iſt. Wenn, wie es ſich im Frühlinge bisweilen ereignet, vor dem Anzünden des Feuers die Luft im Schornſteine kälter, alſo ſchwerer als die äußere iſt, ſo entſteht ein Luftſtrom von oben nach unten, der dann auch nach dem Anzünden des Feuers noch fortdauert und den Rauch in die Zimmer führt, bis endlich die Luft im Schornſteine hinreichend erwärmt iſt, um aufzuſteigen. Dieſer Urſache des Rauchens der Oefen, die freilich nicht die einzige iſt, kann am leichteſten dadurch abgeholfen werden, daß das Ofenrohr noch einige Ellen im Schornſteine fortgeführt wird, weil dann in dem engen Rohre die Luft weit ſchneller bis zu dem gehörigen Grade erwärmt werden kann.

Auch die Winde entſtehen größtentheils aus der ungleichen Erwärmung der Luft an verſchiedenen Punkten der Erde. Die Atmoſphäre iſt immer am Aequator mehr als gegen die Pole hin erwärmt, daher ſtrömt fortwährend kalte Luft nach dem Aequator hin und warme Luft vom Aequator abwärts nach den Polen, und während in der Nähe des Aequators der kalte Luftſtrom fortwährend in den niederen Regionen herrſcht, wie ſich erwarten läßt, bewegen ſich beide Luftſtröme in den gemäßigten Zonen ebenſo oft neben einander vorbei, und wechſeln an irgend einem beſtimmten Punkte auf die mannigfaltigſte Art mit einander ab. Auf der nördlichen Halbkugel zeigt ſich die kalte nach dem Aequator dringende Luftſtrömung als ein nördlicher Wind, der aber in einen nordöſtlichen oder öſtlichen übergeht, weil die mit der Umdrehung der Erde nach Oſten zu fortrückenden Lufttheilchen in der Nähe der Pole nicht die Schnelligkeit beſitzen, wie die Oberfläche der Erde am Aequator; die nach Oſten zu fortgeführten Gegenſtände auf der Erde finden daher in jener minder ſchnellen, aus Norden in ſüdlichere Gegenden

kommenden Luft einen Widerſtand an ihrer Oſtſeite, es ſcheint, als würden ſie von einem aus Oſten herandringenden Strome getroffen, und da auf dieſe Weiſe ein wirklich von Norden kommender Luftſtrom mehr und mehr hinter den Gegenſtänden zurückbleibt, die mit ſchnellerer Umdrehungsbewegung als er nach Oſten fortrücken, ſo entſteht ein Nordoſtwind, der deſto mehr eine öſtliche Richtung annimmt, je weiter er nach dem Aequator vordringt. Am einfachſten und durchgreifendſten zeigt ſich dieſer Einfluß der Drehung der Erde in der Nähe des Aequators, weil dort immer der von den Polen kommende Luftſtrom vorherrſcht, der nun alſo auf der nördlichen Halbkugel einen beſtändig wehenden Nordoſtwind (Paſſatwind) und auf der ſüdlichen aus ähnlichen Gründen einen Südoſtwind erzeugt, während am Aequator ſelbſt zwiſchen den Regionen beider Paſſate die Windſtillen vorherrſchend ſind. Weniger deutlich zeigt ſich der Einfluß der Drehung der Erde in den gemäßigten Zonen; jedoch iſt er auch hier nicht ganz zu verkennen und giebt Aufſchluß über die alte Erfahrung, daß ſich bei uns im Allgemeinen der Wind nach einer beſtimmten Richtung durch die Windroſe dreht, daß er nämlich von Norden nach Oſten, Süden, Weſten übergeht und auf dieſe Art ganze Umläufe vollendet, während er ſeltener und faſt nie anhaltend die entgegengeſetzte Drehung verfolgt. Dove hat dieſe Thatſache am vollſtändigſten aus wirklichen Beobachtungen nachgewieſen und erklärt ſie auf folgende Art. Wenn ſich eine ausgedehnte Luftmaſſe von Norden her in Bewegung ſetzt, ſo erſcheint ſie einem in der Nähe befindlichen Beobachter zunächſt als Nordwind, weil für ihre zunächſt gelegenen Theile, die doch den Beobachter zuerſt treffen, der Einfluß der Drehung der Erde noch nicht merklich iſt; nach und nach erreichen aber die Beobachter diejenigen Theile, die urſprünglich weiter entfernt waren und alſo eine weit geringere Drehungsgeſchwindigkeit haben als der Beobachter; ſie erzeugen alſo einen mehr öſtlichen Wind, und es muß demzufolge der Wind ſich mehr und mehr nach Oſten drehen, je länger ſich dieſe Luftmaſſe an dem Beobachter vorbeibewegt. Dieſe öſtliche Richtung wird noch vorherrſchender, wenn endlich die Luft ſich aufſtaut und dadurch ihre urſprüngliche, nach Süden gerichtete Bewegung ganz verliert. Auf ganz ähnliche Art muß eine von Süden herankommende Luftmaſſe eine Folge von Süd-, Südweſt- und Weſt-Wind hervorbringen; wenn alſo, wie es ohne Zweifel der Fall iſt, bald der nördliche, bald der ſüdliche Luftſtrom an der Oberfläche der Erde vorherrſcht, ſo entſteht durch dieſen Wechſel jener beſtimmte Umlauf des Windes. Daß hierbei ein häufigeres Zurückſpringen des Windes beim Uebergange von Oſten nach Süden und von Weſten nach Norden ſtatt findet, als in den beiden andern Quadranten, daß ferner Nordoſt- und Südweſt-Winde bei uns die häufigſten ſind, liegt in der Natur der Sache; weniger leicht laſſen ſich dagegen die ſtörenden Einflüſſe überſehen, die durch die Vertheilung der Gebirge und Meere ausgeübt werden und die ſich beſonders in einigen Gegenden der heißen Zone geltend machen, wo ſtatt der Paſſate regelmäßig zu beſtimmten Jahreszeiten wechſelnde Winde (Mouſſons) wehen, die in jedem Jahre einen einzigen

ſolchen Umlauf vollenden. Auf der ſüdlichen Halbkugel müſſen natürlich ganz ähnliche Erſcheinungen ſtatt finden, nur iſt dort aus leicht zu überſehenden Gründen die Drehung grade die entgegengeſetzte.

Daß der nordöſtliche Wind, der ſich bei uns ſo häufig zugleich mit heiterem Wetter einſtellt, eine Folge ungleicher Erwärmung der Luft iſt, zeigt ſich beſonders noch darin, daß er in den Jahreszeiten am meiſten herrſcht, wo der Unterſchied der Temperatur in den nördlichen Gegenden und in der Mitte der gemäßigten Zone am größten iſt. Wenn man die mittlere Wärme, die zu beſtimmter Jahreszeit in Mannheim und in Petersburg ſtatt findet, vergleicht, ſo findet man, daß ſie nie mehr, als im Anfange des März, verſchieden iſt und daß dann der mittlere Unterſchied, nach den Beobachtungen mehrerer Jahre, auf 12 Grade des Reaumur'ſchen Thermometers geht; im Januar und im Anfange des Februar beträgt dieſer Unterſchied nur etwa 9 Grade, im April etwa 6 Grade, in den Herbſtmonaten nur 4 bis 5 Grade, im Juli und im Anfange des Auguſt kaum 2 Grade; ganz dieſen Unterſchieden angemeſſen ſind die drei letzten Wintermonate weit mehr, als die erſtern, durch kalte Nordoſtwinde ausgezeichnet; der März beſonders bringt in ſeinem erſten Drittel faſt immer noch größere Kälte, als der Höhe der Sonne gemäß ſcheint, und ſein kalter austrocknender Nordoſtwind iſt uns empfindlicher, als er ſelbſt im Winter zu ſeyn pflegt. Warum jener Nordoſtwind zugleich austrocknend iſt und heitern Himmel macht, das gehört mehr in die Lehre von der Wärme und von den Dämpfen, und ich will hier nur obenhin bemerken, daß in den Phänomenen der Wolken zuweilen ein oberer warmer Luftſtrom kenntlich zu werden ſcheint, während unten dieſer kalte Luftſtrom ſtatt findet, wenigſtens hat die Behauptung viel für ſich, daß die Schäfchenwolken im Frühling, bei anhaltendem kalten Nordoſtwinde und heiterm Himmel, darum Vorboten warmer Witterung ſind, weil ſie anzeigen, daß der in großer Höhe vermuthlich immer im Winter ſtatt findende warme ſüdliche Strom anfange, das Uebergewicht zu erlangen und zu niedrigeren Gegenden herabzukommen.[1]

Die wechſelnden See- und Landwinde in den heißern Gegenden der Erde erklären ſich auch hieraus, indem am Tage in der heißeſten Zeit die über dem Meere weniger erwärmte Luft in den untern Gegenden dem feſten Lande zu ſtrömt, ſtatt daß während der Nacht die über dem Lande zu einer tieferen Temperatur abgekühlte Luft ſich nach dem Meere zu ergießt, wo die Luft während der Nacht wärmer bleibt.

Wiefern die bei Gewittern oft plötzlich entſtehenden ſehr kalten Winde, die von der Gegend des Gewitters ausgehen, hieher gehören, iſt wohl noch nicht vollkommen aufgeklärt; es ſcheint aber, als ob eine durch uns nicht genau bekannte Urſachen erzeugte Kälte, die ja ſogar große Hagelmaſſen zum

[1] Ich habe dieß vollſtändiger zu zeigen geſucht in den Unterhaltungen für Freunde der Phyſik und Aſtronomie. I. S. 148. Ueber die Urſachen des im Sommer vorherrſchenden Weſtwindes haben Schübler, Schouw und Kämtz ſehr richtige Bemerkungen gemacht. Schweigger's Journal 1828. 3. Heft.

Gefrieren bringt, die Luft in der Gegend der Wolke ſo ſehr abkühlt, daß ſie als ſchwerer ſich durch die umgebende wärmere Luft herabſtürzt und nach den eben angegebnen Geſetzen ſeitwärts fließt. Einige andre meteorologiſche Phänomene, die auf ähnlichen Urſachen beruhen, muß ich übergehen, um nicht zu weit von dem Hauptgegenſtande abzuſchweifen.

Sechzehnte Vorleſung.

Barometer.

Bei den bisher betrachteten Erſcheinungen konnten wir uns füglich mit einer oberflächlichen Abmeſſung des Luftdruckes begnügen; in vielen andern Fällen hingegen, beſonders wenn es darauf ankommt, die geringern Veränderungen in der Stärke des Luftdruckes zu beſtimmen, iſt eine vollkommen genaue Abmeſſung unumgänglich nothwendig, und dieſe wird durch das Barometer möglich gemacht, durch deſſen Hülfe die Höhe der in jedem Augenblicke grade vom Luftdruck getragenen Queckſilberſäule gemeſſen werden kann. Die jetzt gebräuchlichen Barometer werden in Gefäß- und Heberbarometer eingetheilt, und die empfindlichſten von ihnen oder die, welche am ſchnellſten jede kleine Aenderung des Luftdruckes anzeigen, ſind die erſteren. Sie beſtehen aus einer ziemlich weiten, oben geſchloſſenen Glasröhre, die mit Queckſilber gefüllt und mit ihrer Oeffnung unten in ein Gefäß mit Queckſilber getaucht iſt, ganz ſo wie ich es in der vorigen Vorleſung zu beſchreiben Gelegenheit hatte (IV. Fig. 15). Iſt hier die Röhre weit genug und der Raum oberhalb des in der Röhre enthaltenen Queckſilbers völlig luftleer, ſo findet ſich kein Hinderniß, wodurch die Einwirkung des Druckes der äußern Luft aufgehalten würde, und die Höhe der Queckſilberſäule giebt genau den von der freien Luft ausgeübten Druck an; die obere Queckſilberfläche ſteigt daher bei wachſendem und ſinkt bei abnehmendem Luftdrucke. Nicht ganz ſo vollkommen findet dieſes ſtatt, wenn die Röhre eng iſt, erſtens weil der Widerſtand an der Röhrenwand in ſolchen Röhren nur dann eine merkliche Aenderung der Queckſilberhöhe zuläßt, wenn der Druck der Luft ſich ſchon um etwas mehr geändert hat, zweitens weil, vermöge einer ſpäter zu erörternden Einwirkung, das Queckſilber in einer engen Glasröhre eine ſtark gekrümmte Oberfläche annimmt, deren höchſter Punkt aber immer noch etwas tiefer liegt als eigentlich das Niveau des Queckſilbers liegen ſollte. [1] Die zweite Art von Barometern, das Heberbarometer (IV. Fig. 14), iſt in manchen Hinſichten bequemer. Es beſteht aus einer gekrümmten, oben bei c luftleeren Röhre, wo der Druck der Luft

[1] Dieſe ſogenannte Depreſſion iſt deſto geringer je weiter die Röhre iſt; ihre wirkliche Größe wird am beſten durch Vergleichung des Gefäßbarometers mit einem guten Heberbarometer beſtimmt. In letztern nämlich wölbt ſich zwar die Queckſilberfläche auch, eine Depreſſion findet aber nicht ſtatt, weil die in beiden Schenkeln gleichen Depreſſionen ſich gegenſeitig aufheben.

auf die Oberfläche des Queckſilbers im kürzern, offenen Schenkel, bei B, wirkt und das Queckſilber im längern Schenkel ſo hoch erhält, als es dem jedesmaligen Luftdrucke angemeſſen iſt. Es iſt nicht ganz ſo empfindlich, als das aus einer graden Röhre beſtehende Gefäßbarometer, weil der Widerſtand, den das Queckſilber in der Krümmung der Röhre findet, immer etwas erheblicher iſt.

In beiden Arten von Barometern muß der Raum oberhalb der höchſten Queckſilberfläche völlig luftleer ſeyn, damit dieſe Oberfläche im vollkommenſten Sinne frei von allem Drucke der Luft ſey und die Höhe der Queckſilberſäule, welche von der untern Oberfläche B an vertical hinauf gemeſſen wird, den völligen Druck der äußern Luft angebe. Um dieſe vollkommene Luftleere zu erhalten, muß man das Queckſilber in der Röhre auskochen, indem die Erfahrung zeigt, daß ſich immer Luft aus dem nicht ausgekochten Queckſilber entwickelt, ſelbſt wenn man ſo glücklich geweſen iſt, die Röhre ſo zu füllen, daß kein ſichtbares Bläschen übrig blieb; dieſe in dem Queckſilber enthaltene Luft wird, ſo wie die noch etwa anhängenden feinen Bläschen, nur dann völlig entfernt, wenn man die ganze Queckſilbermaſſe in der Röhre ſelbſt, ehe man dieſe in ihre umgekehrte Stellung gebracht hat, auskocht, indem dann die durch die Hitze ausgedehnte Luft völlig ausgetrieben wird. Daß der Zweck, eine völlige Luftleere zu erhalten, wirklich erreicht ſey, davon kann man ſich ziemlich ſicher überzeugen, wenn man das Barometer ſo weit auf die Seite lehnt, daß das Queckſilber ſich oben anlegt, und dann mit dem Microſcope unterſucht, ob gar nichts von einem Bläschen oben übrig bleibt, ſondern das Queckſilber ſich ohne den geringſten Zwiſchenraum an das Glas anlegt. Ebenſo wichtig faſt iſt, daß das Queckſilber, deſſen man ſich bedient, vollkommen rein ſey, weil durch fremde Beimiſchungen das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers geändert werden und alſo bei verſchiedenen Barometern verſchieden ſeyn würde, ferner weil unreines Queckſilber die Röhrenwände bald undurchſichtig macht, welcher Uebelſtand ſich ohnehin in dem kürzern Schenkel von Heberbarometern, wo das Queckſilber mit der Luft in Berührung iſt, ſchwer vermeiden läßt.

Wir wollen aber in den meiſten Fällen nicht das Steigen oder Fallen unſeres Barometers allein beobachten, ſondern wir wollen unſre Beobachtungen mit den Beobachtungen an andern Orten vergleichen, und müſſen uns daher eines genauen Maaßes bedienen. Am gewöhnlichſten iſt es bei uns, pariſer Zolle, in 12 Linien getheilt, anzuwenden, und auf dieſe Eintheilung will ich mich hier immer beziehen; jedes andre Maaß, wenn es nur in Vergleichung gegen das pariſer Maaß ein bekanntes iſt, läßt ſich auf dieſes zurückführen.[1]

Die Abmeſſung der Barometerhöhe muß von der niedrigern Oberfläche,

[1] Da man auch wohl Barometerſcalen hat, die engliſche Zolle, rheinländiſche Zolle und Millimeter angeben, ſo bemerke ich, daß 135,12 pariſer Linien 12 engliſche Zolle betragen, 159,13 pariſer Linien 12 rheinländiſche Zolle, 324,84 Millimeter 12 pariſer Zolle. Es ſind daher 28 Zoll pariſer Maaß = 29 Zoll 10,1 Linien engliſch
= 28 Zoll 11,8 Linien rheinländiſch oder preußiſch
= 757,96 Millimeter.

ſie ſey nun die Queckſilberoberfläche in dem weiteren Gefäße AB (IV. Fig. 15) oder im andern Schenkel B (IV. Fig. 14), an gerechnet werden, und es wird daher hier am beſten ſeyn, die ganze Scale, auf welcher die Zolle aufgetragen ſind, als beweglich anzuſehen, ſo daß ihr Nullpunkt jedesmal genau an die untere Oberfläche gebracht werden kann. Iſt das Barometer ein Gefäßbarometer (IV. Fig. 15), ſo kann dieß dadurch geſchehen, daß eine Spitze a, die genau mit dem Nullpunkte übereinſtimmt, bis zur Berührung der Oberfläche A B herabgebracht wird; iſt es ein Heberbarometer, ſo muß ſich an der Scale vor und hinter der Röhre ein horizontal geſpanntes Haar befinden, und dieſe Haare, deren Lage mit dem Null der Scale zuſammentrifft, werden mit der ganzen Scale ſo herabgeſchraubt, daß ſie dem richtig gehaltenen Auge beide zugleich die Queckſilberoberfläche B zu berühren ſcheinen. Hiemit iſt der Anfang der Scale richtig geſtellt, und es iſt nur noch übrig, oben die richtige Anzahl der Zolle, Linien und Theile von Linien abzuleſen. Damit dieß bequem geſchehe, iſt (IV. Fig. 14) das Täfelchen c d, das ſich am Maaßſtabe auf und ab bewegen läßt, ebenſo mit zwei horizontalen Haaren oder einer die Röhre genau in horizontaler Richtung umgebenden Faſſung verſehen, und man ſtellt dieſe durch eine Schraube ſo, daß die beiden Haare die obere Wölbung des Queckſilbers zu berühren ſcheinen; dann iſt der erſte Theilſtrich, das Null des in IV. Fig. 16 größer dargeſtellten beweglichen Stückes, genau an der Scale ſo hoch, als die Queckſilberoberfläche. Der erſte Theilſtrich zeigt uns nun zwar die ganzen Linien der Barometerhöhe an der Scale ſogleich an, aber wir verlangen wenigſtens auch noch die Zehntel der Linie nicht bloß zu ſchätzen, ſondern genau abzuleſen; hiezu dient der Nonius oder Vernier, deſſen Einrichtung folgende iſt. Statt daß auf der Scale ſelbſt die einzelnen Linien aufgetragen ſind, hat man in der Theilung auf dem beweglichen Stücke, welches den Vernier oder Nonius darſtellt, den Raum von 9 Linien in 10 gleiche Theile getheilt. Treffen alſo (IV. Fig. 16) bei c zwei Theilſtriche, der Scale nämlich und des Vernier, genau zuſammen, ſo ſind die nächſten d und e um $^1/_{10}$ Linie, die zweiten folgenden f und g um zwei Zehntel aus einander, und wenn der Inder, nämlich die mit dem am Vernier befindlichen Haare zuſammentreffende Linie, um fünf Zehntel von der vollen Linientheilung der Scale abſteht, ſo erkennen wir dieß an dem genauen Zuſammentreffen des fünften Theilſtriches. Fig. 17 ſtellt in a den Theilſtrich des Vernier vor, der mit dem Haare zuſammentrifft, in b den fünften, der auf eine volle Linie der Scale l m zeigt und alſo zu erkennen giebt, daß man 337,5 Linien abzuleſen habe. Auf ähnliche Weiſe könnte man Zwanzigſtel einer Linie ableſen, wenn man ſich eines Nonius bediente, auf dem 19 Linien der Scale in 20 Theile getheilt wären, und wenn man zur Ableſung Microſcope gebraucht, ſo kann man die Genauigkeit ſogar noch weiter treiben.

Ich würde mich bei dieſen genauen Anweiſungen nicht ſo lange aufhalten, wenn es nicht ein Inſtrument beträfe, das in aller Menſchen Händen iſt, und von welchem Sie ſelbſt gewiß oft eine möglichſt genaue Anwendung zu machen

wünſchen. Daß das Barometer genau vertical hängen muß, damit das, was wir ableſen, auch der wahre Höhenunterſchied der beiden Queckſilberoberflächen ſey, verſteht ſich von ſelbſt, und daß man durch einige ganz leiſe Stöße zu bewirken ſuchen muß, daß das Queckſilber den Widerſtand an den Röhrenwänden überwinde und genau die dem Luftdrucke angemeſſene Höhe erreiche, iſt eine Regel, die vorzüglich bei engen Röhren nicht zu überſehen iſt.

Noch muß ich den Einfluß erwähnen, den die Wärme ausübt, indem ſie das Queckſilber im Barometer ausdehnt. Wir haben gleich zu Anfang dieſer Betrachtungen über den Druck der Luft die Bemerkung gemacht, daß eine leichtere Flüſſigkeit in der luftleeren Röhre bis zu größern Höhen durch den Druck der Luft hinaufgedrängt wird, und es iſt daher leicht zu überſehen, daß ein etwas leichteres Queckſilber im Barometer höher ſtehen wird, als ein etwas ſchwereres. Da nun die Erfahrung uns zeigt, daß die Wärme alle Körper und ſo auch das Queckſilber ausdehnt, ſo muß das wärmere Queckſilber etwas höher ſtehen, als kaltes. Daß dieſer Unterſchied nicht unerheblich iſt, davon kann man ſich im Winter am beſten überzeugen, wenn man zwei ganz gleiche Barometer beobachtet, deren eines in einem kalten Raume, das andre nahe am Ofen aufgehängt iſt. Hier iſt es leicht zu erreichen, daß der Wärme-Unterſchied 25 Grade der achtzigtheiligen Thermometerſcale beträgt,[1] und in dieſem Falle wird das in der Wärme hängende Barometer beinahe 2 Linien höher ſtehen, als das andre, wenn das letztere ungefähr auf 28 Zoll ſteht. Will man alſo Barometerbeobachtungen mit Genauigkeit anſtellen, ſo muß man zugleich vermittelſt des Thermometers die Wärme beobachten und die beobachtete Barometerhöhe für jeden Reaumur'ſchen Grad um $1/4440$, oder für jeden Centeſimalgrad um $1/5550$ verringern. Man hat dann, und das geſchieht gewöhnlich, die Beobachtung auf 0° reducirt, d. h. ſie ſo umgeändert, wie ſie ausgefallen ſeyn würde, wenn ſich im Barometer Queckſilber von 0° Wärme befunden hätte. Eine ähnliche Correction muß man bei ſehr genauen Beobachtungen noch in Beziehung auf die Scale anbringen, denn da ſich auch die Scale in der Wärme ausdehnt, freilich viel weniger als Queckſilber, ſo würde man mit deren verlängerten Theilen die Höhe zu klein finden. Für beide Correctionen hat man Tafeln entworfen, aus denen ſie ſich für jede Temperatur unmittelbar entnehmen laſſen, und daß dieſe Genauigkeit nothwendig iſt, wird ſogleich aus den Anwendungen hervorgehen.

Höhenmeſſung mit dem Barometer.

Eine der wichtigſten Anwendungen des Barometers iſt die Höhenmeſſung, welche zugleich noch einen factiſchen Beweis liefert, daß es allein der Luftdruck iſt, der die Queckſilberſäule im Barometer erhält. Dieſer Beweis ergiebt ſich

[1] Unſre gewöhnlichen Queckſilberthermometer ſind faſt alle ſo getheilt, daß ſie Null zeigen, wenn man das Thermometer in gefrierendes Waſſer taucht, und daß ſie entweder 80 Grade oder 100 Grade zeigen, wenn man ſie in kochendes Waſſer bringt. Die Eintheilung von 80 Graden heißt die Reaumur'ſche, die Eintheilung von 100 Graden die Centeſimal-Theilung. Die übrigen Beſtimmungen kommen in der Lehre von der Wärme vor.

daraus, daß das Queckſilber im Barometer ſinkt, wenn wir das Barometer an einen höhern Ort bringen. Dieſes muß offenbar ſtatt finden, wenn es der Druck der Luft iſt, welcher das Queckſilber in dieſer Höhe erhält; denn indem ich in der Luft hinaufſteige, laſſe ich einen Theil der Luftſäule unter mir zurück, die nun nicht mehr zu dem Drucke auf das Barometer beiträgt, und der Barometerſtand in einem höhern Standpunkte giebt nur das Gewicht des noch über uns liegenden Theiles der Luftſäule an. Auf dieſe Weiſe ſieht man das Barometer auf dem Brocken $24\frac{1}{2}$ Zoll hoch bei einer Höhe von 3650 Fuß, auf dem St. Bernhard 21 Zoll hoch bei 7650 Fuß Höhe, auf dem Aetna 19 Zoll hoch bei 10300 Fuß Höhe, auf dem Mont Blanc 16 Zoll hoch bei 14650 Fuß Höhe, auf dem Chimborazo $12\frac{5}{6}$ Zoll hoch bei 20100 Fuß Höhe.

Dieſe Beobachtungen bieten uns ein weites Feld zu weiteren Unterſuchungen dar, denn es erhellt, daß wir nur das Geſetz, nach welchem ſich dieſes Fallen des Barometers in höhern Standpunkten richtet, näher kennen zu lernen brauchen, um das Barometer als ein Inſtrument zum Höhenmeſſen anzuwenden.

Wenn man von zwei Barometern, die neben einander hängend beide genau gleich, 28 Zoll hoch, ſtanden, das eine zu einem 73 Fuß höhern Standpunkte bringt, ſo fällt es bei einer Temperatur von 3° Wärme um eine Linie, und wir ſchließen daher, daß eine Luftſäule, die 73 Fuß oder 876 Zoll oder 10512 Linien hoch iſt, ebenſo viel wiegt, als eine Queckſilberſäule von 1 Linie hoch bei gleichem Querſchnitte, das heißt, wir finden, daß die uns umgebende, von der ganzen obern Luft zuſammengedrückte Luft nur $\frac{1}{10512}$ ſo dicht als Queckſilber, alſo nur ungefähr $\frac{1}{770}$ ſo dicht als Waſſer iſt. Hiemit kennen wir einen Umſtand, auf welchen es bei der barometriſchen Höhenmeſſung ankommt; aber gewiß iſt das ſpecifiſche Gewicht der Luft nicht überall ſo groß, ſondern da die Luft bei geringerem Drucke ſich ausdehnt, ſo muß ſie in höhern Standpunkten weniger dicht ſeyn, und ſelbſt nachdem wir nur um 73 Fuß höher geſtiegen ſind und ein Sinken des Queckſilbers von einer Linie beobachtet haben, befinden wir uns in einer minder dichten Luft und müſſen jetzt etwas mehr als 73 Fuß hoch ſteigen, damit das Queckſilber wieder um eine Linie falle, und jedes folgende Sinken des Queckſilbers bei höherem Steigen gehört, wenn es eine Linie beträgt, mit höheren Luftſäulen zuſammen. Da wir vorausſetzten, daß an der Erdoberfläche das Barometer auf 336 Linien, in 73 Fuß Höhe auf 335 Linien ſtehe, ſo muß in dieſer Höhe des geringern Druckes wegen eine ebenſo ſchwere Luftmaſſe $\frac{336}{335}$ mal ſo viel Raum einnehmen, als an der Erdoberfläche; wir müſſen alſo von hier aus $\frac{336}{335}\,.\,73$ Fuß ſteigen, um das Barometer auf 334, dann $\frac{336}{334}\,.\,73$ Fuß, um es auf 333 Linien fallen zu ſehen; und ſo fortrechnend finden wir

die Barometerhöhe =	$336'''$	auf der Höhe	=	0	Fuß,
	335	„ „	=	73,000	„
	334	„ „	=	146,218	„
	333	„ „	=	219,655	„
	332	„ „	=	293,313	„

die Barometerhöhe =	331'''	auf der	Höhe =	367,193	Fuß,
	330	„	„ =	441,296	„
	329	„	„ =	515,623	„
	328	„	„ =	590,176	„
	327	„	„ =	664,956	„
	326	„	„ =	739,965	„
	325	„	„ =	815,204	„
	324	„	„ =	890,674	„
	323	„	„ =	966,378	„
	322	„	„ =	1042,316	„
	321	„	„ =	1118,490	„
	320	„	„ =	1194,900	„
	319	„	„ =	1271,551	„
	318	„	„ =	1348,441	„
	317	„	„ =	1425,573	„
	316	„	„ =	1502,948	„

Schon dieſe kleine Tafel zeigt, daß man, um das Barometer 20 Linien fallen zu ſehen, nicht 20mal 73 oder 1460 Fuß ſteigen muß, ſondern 1503 Fuß, und je höher man ſteigt, deſto mehr beträgt dieſer Unterſchied; aber mit Hülfe dieſes Täfelchens, welches ſich ohne große Mühe weiter fortführen läßt, wäre es nun leicht, ſogleich aus dem beobachteten Stande des Barometers zu wiſſen, auf welcher Höhe man ſich über dem Standpunkte befindet, wo das Barometer 28 Zoll hoch ſteht, wenn nicht die Wärme, deren ungleiche Grade die Luft in einen mehr oder minder dichten Zuſtand verſetzen, hier noch berückſichtigt werden müßte.

Wenn die Wärme drei Grad über Null iſt, ſo iſt es bei trockener Luft richtig, daß man 73 Fuß ſteigen muß, um das Barometer von 28 Zoll auf 27 Zoll 11 Linien fallen zu ſehen; dagegen muß man, wenn die ganze Luftſäule 13 Grade der 80theiligen Scale warm iſt, 76 Fuß 5 Zoll ſteigen, um das Barometer ebenſo tief fallen zu ſehen. Die Luft dehnt ſich nämlich bei zunehmender Wärme ſo ſehr aus, daß ſie bei 10 Grad Wärme faſt um $\frac{1}{21}$ leichter iſt und man alſo $73 \cdot \frac{22}{21}$ = beinahe $76\frac{1}{2}$ Fuß als diejenige Höhe erhält, die jetzt an Gewicht den vorigen 73 Fuß gleich iſt, und in eben dem Verhältniſſe nehmen alle Höhen der Tafel zu.

Um alſo die ganze Theorie des Höhenmeſſens mit dem Barometer zu überſehen, reichen folgende wenige Regeln zu. Man muß erſtlich die Barometerhöhe an den zwei Orten, deren Höhenunterſchied man wiſſen will, ſehr genau meſſen, und dieſes ſo viel als möglich zu gleicher Zeit, damit eine Aenderung im Stande des Barometers, ſo wie ſie mit wechſelnder Witterung verbunden zu ſeyn pflegt, nicht eine Unrichtigkeit hervorbringe. Man muß zweitens die beobachtete Queckſilberhöhe auf die Wärme des gefrierenden Waſſers zurückführen, weil das Queckſilber bei größerer Wärme nicht die Dichtigkeit hat, die bei der Berechnung der vorhandenen Tafeln vorausgeſetzt iſt. Man ſucht

drittens mit Hülfe einer ſolchen Tafel, wie ſie oben angegeben iſt, wie hoch der eine und wie hoch der andre Standpunkt ſich über demjenigen befindet, wo das Barometer 28 Zoll hoch ſteht, und würde daraus, weil dieſe Tafeln auf die Nulltemperatur eingerichtet zu ſeyn pflegen, den Höhenunterſchied genau haben, wenn die Wärme der Luft = Null Grad geweſen wäre. Endlich viertens nimmt man aus den in beiden Standpunkten in freier Luft beobachteten Wärmegraden das Mittel und legt dem vorigen Höhenunterſchiede ſo viele 213tel zu, als dieſe Mittelwärme in Reaumur'ſchen Graden über Null iſt; wäre die Mittelwärme unter Null, ſo müßte man ſubtrahiren.

Dieß ſind die wichtigſten Regeln; einige andere Correctionen, welche durch die verſchiedene Menge von Waſſerdämpfen in der Luft und durch die Abnahme der Schwerkraft in größeren Entfernungen von der Erde nöthig werden, muß ich übergehen, da eine vollſtändige Anleitung zum Höhenmeſſen hier nicht mein Zweck iſt; einige Hinderniſſe aber, die einer ganz genauen Höhenmeſſung mit dem Barometer im Wege ſtehen, kann ich nicht unerwähnt laſſen. Jene Wechſel im Barometerſtande, die wir alle als mit der Witterung in Beziehung ſtehend kennen und auf welche ich ſogleich zurückkommen werde, gehören mit zu dieſen Hinderniſſen; denn da die Aenderungen des Barometerſtandes nicht ganz gleichzeitig erfolgen, ſelbſt an Orten nicht, die nur wenige Meilen aus einander liegen, ſo kann bei einer Entfernung, die mehrere Meilen beträgt, einige Unſicherheit entſtehen, und dieſe kann ſich bei Orten, deren Höhe beinahe gleich iſt, ſogar ſo erheblich zeigen, daß derſelbe Ort bald einen etwas höhern, bald einen etwas niedrigern Barometerſtand als der andere hat.[1] Aber ſelbſt bei gleichzeitigen Beobachtungen an Orten, die nur wenig in horizontaler Richtung von einander entfernt, aber in ungleicher Höhe liegen, bleibt eine Unſicherheit in der Beſtimmung übrig, weil wir nicht immer die Wärme der ganzen zwiſchenliegenden Luftſäule genau kennen. Wenn wir die Wärme am Fuße des Berges 12 Grad und an ſeinem Gipfel 8 Grad finden, ſo nehmen wir 10 Grad als die Wärme der ganzen Luftſäule an; aber etwas genauer angeſtellte Beobachtungen zeigen, daß dieſe Beſtimmung des Mittels oft ſehr bedeutend fehlerhaft iſt. In den Mittagsſtunden erwärmt bei heiterem Wetter der Boden ſich ſo ſehr, daß nahe an der Erde eine große Erhitzung bemerkt wird, die in Höhen von einigen hundert Fuß von der Erde ganz aufhört; denken wir nicht daran, daß dieſe Wärme nur auf den unterſten Theil der Luftſäule eingeſchränkt iſt, und laſſen uns dadurch verleiten, die ganze Luftſäule als um 1 Grad zu warm anzuſehen, ſo berechnen wir einen Berg von 2130 Fuß um 10 Fuß zu hoch. Einen noch auffallendern Irrthum begeht man leicht um die Zeit des Sonnenuntergangs nach heißen Tagen oder um die Zeit des Sonnenaufgangs nach heitern, ſtillen Sommernächten. Wenn am Tage die Erwärmung des Bodens ſehr groß war und dadurch auch die Luft bis zu 100 oder 200 Fuß Höhe bedeutend durchwärmt iſt, ſo findet man Abends bei Sonnenuntergang die

[1] Ueber einen Einfluß der Windrichtung auf die Höhenmeſſung vergl. Brandes Beiträge zur Witterungskunde S. 217.

Luft in 100 Fuß Höhe lange nicht ſo abgekühlt, wie am Boden oder in 3 bis 4 Fuß Höhe. Beobachtet man nun das Thermometer in 3 oder 4 Fuß Höhe und in 4000 Fuß Höhe, ſo wird man das erſtere vielleicht auf 10 Grad, die Wärme in der Höhe dagegen, wo es immer kalt iſt, nur 4 Grad finden; aber zwiſchen beiden Standpunkten kann es eine Gegend geben, wo es 12 oder 13 Grad warm wäre, ſo daß wir ſtatt 7 Grad Mittelwärme wenigſtens 8, vielleicht 9 Grad hätten annehmen müſſen; in ſolchen Fällen iſt die wärmere Luftſäule länger, als wir ſie berechnen, wir finden die Höhe des Berges zu niedrig, und dieſer Unterſchied wird oft ſo erheblich, daß man die am ſpäten Abend oder Morgens vor Sonnenaufgang gemachten Beobachtungen, als viel zu geringe Höhen gebend, ganz unbrauchbar gefunden hat. Dieſem Fehler weicht man am beſten aus, wenn man die Beobachtungen in den mittleren Vormittagsſtunden, von 8 bis 10 Uhr, oder in den mittlern Nachmittagsſtunden, im Sommer um 4 oder 5 Uhr anſtellt, weil dann die Wärme in der Luft am gleichförmigſten ausgetheilt iſt.

Wenn dieſe Ungewißheit in der Beſtimmung der mittleren Wärme nicht ſtatt fände, ſo könnten barometriſche Höhenmeſſungen als Beweiſe für oder gegen eine von Dalton aufgeſtellte Hypotheſe dienen, indem man ihre Reſultate mit denen geodätiſcher Meſſungen vergliche. Nach Dalton's Anſicht üben zwei verſchiedene Luftarten, die in demſelben Gefäße eingeſchloſſen ſind, auf einander gegenſeitig keinen Druck aus, ſondern die Atome der einen Luftart finden zwiſchen denen der andern Luftart ihren Platz, ohne mechaniſch auf ſie einzuwirken. Da nun die Atmoſphäre, abgeſehen von einem ſehr geringen Gehalt an Kohlenſäure, nur aus Stickſtoff, Sauerſtoff und Waſſerdämpfen beſteht, deren verhältnißmäßige Menge an der Erdoberfläche und deren Gewicht bekannt iſt, ſo können wir den Druck, den jede einzelne von dieſen Flüſſigkeiten auf das Barometer hervorbringen würde, ſehr wohl angeben; er vertheilt ſich aber zwiſchen ihnen etwas ungleich, je nachdem man Dalton's Anſicht zum Grunde legt oder nach der älteren Anſicht eine gegenſeitige Einwirkung der Luftarten auf einander annimmt. Nach der älteren Anſicht würden die Hauptbeſtandtheile der Luft in allen Höhen gleichmäßig gemiſcht ſeyn und der Sauerſtoff für ſich würde 6,3 Zoll, der leichtere Stickſtoff ſeiner größeren Menge wegen 21,3 Zoll, der Waſſerdampf 0,4 Zoll Queckſilber heben. Nach Dalton würde der Sauerſtoff 5,8 Zoll, der Stickſtoff 21,8 Zoll, der Waſſerdampf 0,4 Zoll Queckſilber heben, und da der leichtere Stickſtoff ſeine Dichtigkeit nur ſeinem eigenen Drucke verdankte, ſo müßte er noch in viel größeren Höhen als nach der älteren Anſicht eine merkliche Dichtigkeit beſitzen, während die Dichtigkeit des Sauerſtoffes früher unmerkbar werden würde. Bei der überwiegenden Menge des Stickſtoffes würde dieß, wie die Rechnung [1] zeigt, den Einfluß haben, daß auf hohen Bergen das Barometer nach Dalton's

[1] Gilbert's Annalen **XXVII**. S. 438. Ein Druckfehler in dem Hauptreſultate dieſer von Tralles geführten Rechnung macht, daß daſſelbe mit dem grade entgegengeſetzten, aus falſchen Principien hergeleiteten Reſultate von Benzenberg übereinzuſtimmen ſcheint.

Anſicht etwas weniger ſinken, alſo höher ſtehen müßte, als es bei einer überall gleichförmigen Miſchung der Luft der Fall ſeyn würde. Der Unterſchied würde jedoch in den bis jetzt erreichten Höhen nur $^{15}/_{1000}$ Zoll betragen und in die Beſtimmung geringerer Bergeshöhen nur eine Unſicherheit von einigen Fußen bringen. Um ebenſo viel kann man ſich leicht bei dem geringſten Fehler in der Beſtimmung der mittleren Wärme oder Feuchtigkeit irren, und es iſt daher nicht möglich, durch die Vergleichung der Angaben des Barometers mit den Reſultaten anderer Höhenmeſſungen über dieſe Frage zu entſcheiden.[1]

Tägliche regelmäßige Oſcillationen des Barometers.

Das Barometer ſoll uns aber nicht bloß zum Höhenmeſſen dienen, ſondern eine ſeiner Hauptbeſtimmungen iſt bekanntlich, daß es als Wetterglas uns die bevorſtehenden Aenderungen der Witterung anzeigen ſoll; und ſo viel ſich auch gegen ſeine Verdienſte in dieſer Hinſicht ſagen läßt, ſo bieten uns doch die Variationen im Stande des Barometers Gelegenheit zu den merkwürdigſten Betrachtungen dar, die, ſo viel Räthſelhaftes ſie auch noch übrig laſſen, dennoch höchſt belehrend ſind.

Die großen und jeden Tag verſchiedenen Aenderungen im Stande des Barometers, welche wir in unſern Gegenden wahrnehmen, ſind beinahe ganz unbekannt in der Nähe des Aequators und es finden dagegen dort Aenderungen in der Barometerhöhe ſtatt, die täglich regelmäßig wiederkehren und nur ſelten in einigen Gegenden durch Orkane und ähnliche Ereigniſſe unterbrochen werden. Dieſe täglichen Oſcillationen des Barometers, auf deren Beobachtung man zwar ſchon früher aufmerkſam geworden war, die aber erſt durch von Humboldt's, Horner's u. A. wiederholte und mit Ausdauer fortgeſetzte Beobachtungen genau bekannt geworden ſind, beſtehen darin, daß zwiſchen den Wendekreiſen ungefähr um 4 Uhr Nachmittags das Barometer ſeinen tiefſten Stand erreicht, dann bis Abends um 10 Uhr ſteigt, bis Morgens um $3^1/_2$ Uhr fällt, gegen 10 Uhr Vormittags ſeinen höchſten Stand erreicht und endlich wieder um 4 Uhr zu ſeinem tiefſten Stande zurückgekehrt iſt. Es ſteigt von 4 Uhr Nachmittags bis 10 Uhr Abends 0,6 Linie, fällt von 10 Uhr Abends bis $3^1/_2$ Uhr Morgens 0,3 Linie, ſteigt wieder bis 10 Uhr Vormittags 0,7 Linie, ſo daß es faſt eine ganze Linie höher als Nachmittags ſteht, und ſinkt in den folgenden 7 Stunden um dieſe ganze Differenz. Dieſe Wechſel ſind zwar weder an allen Orten der heißen Zone gleich groß, noch kehren ſie an allen Orten ganz genau zu derſelben Stunde wieder; aber ihre Regelmäßigkeit iſt in den Gegenden America's, wo von Humboldt beobachtete, und auf dem Meere, wo beſonders Horner und Simonoff beobachtet haben, ſo beſtimmt, daß man ſie jeden Tag wahrnehmen kann. In der gemäßigten

[1] So weit die Genauigkeit chemiſcher Analyſen reicht, zeigt ſich die Luft in allen Höhen und unter allen Umſtänden aus ihren beiden Hauptbeſtandtheilen gleichmäßig gemiſcht, ſo daß dem Raume nach überall 21 Theile Sauerſtoff auf 79 Theile Stickſtoff kommen. Nach Dalton läßt ſich dieß nur durch die unaufhörliche Bewegung der Luft und die daraus entſtehende Vermiſchung der Schichten erklären.

Zone laſſen zwar die von der Witterung abhängigen unregelmäßigen Aenderungen des Barometerſtandes nicht zu, daß man dieſe täglichen Oſcillationen ſo leicht und beſtimmt wahrnehme; aber wenn man eine längere Reihe von Tagen ſtündlich das Barometer beobachtet, ſo ergeben die aus den Beobachtungen jeder einzelnen Tagesſtunde gezogenen Mittelzahlen, daß auch hier eben dieſe Schwankungen merklich ſind. Die von Chiminello in Padua, von Ramond in Spanien, von Arago und Bouvard in Frankreich, von Kämtz in Halle, von Forbes in Edinburg angeſtellten und andere Beobachtungen zeigen, daß auch hier die Perioden ziemlich ebenſo auf 4 Uhr Morgens, 10 Uhr Vormittags, 4 Uhr Nachmittags und 10 Uhr Abends fallen, daß aber der Unterſchied zwiſchen der größten Höhe Vormittags und der kleinſten Nachmittags bei weitem weniger beträgt. Aus der Zuſammenſtellung aller dieſer Beobachtungen ergiebt ſich, daß die Tageszeiten, zu welchen dieſe höchſten und tiefſten Barometerſtände eintreten, unter allen Breiten nahe dieſelben ſind, und daß nur die Jahreszeiten darin eine kleine Aenderung hervorbringen. Die Extreme am Tage weichen weiter vom Mittel ab, als die in der Nacht, und die ganzen Schwankungen ſind im Sommer beträchtlicher als im Winter; den weſentlichſten Einfluß hat aber auf die Größe der Schwankungen die geographiſche Breite des Beobachtungsortes und ſeine Entfernung von der Meeresküſte. Unter dem Aequator nämlich ſind die Schwankungen am bedeutendſten, ſie nehmen von da mit wachſender Breite ab und gehen endlich in der Nähe der Pole nach Parry's und Roß's Beobachtungen in entgegengeſetzte Schwankungen über. Auch mit wachſender Höhe über dem Meere ſcheint die Größe der Schwankungen abzunehmen, und zwar ſo, daß dieſe Abnahme am merklichſten wird und auch endlich zu entgegengeſetzten Schwankungen führt, wo, wie in höhern Breiten, der ganze Betrag der Oſcillationen an ſich unbedeutend iſt, daß dagegen unter dem Aequator dieſe Abnahme erſt in ſehr bedeutenden Höhen merklich wird.

Daß die entferntere Urſache dieſer regelmäßigen Schwankungen die Erwärmung durch die Sonne ſey, kann kaum bezweifelt werden; in der eigentlichen Erklärung derſelben ſtimmen aber die Phyſiker nicht ganz überein, und ich begnüge mich, Ihnen die ſcharfſinnige von Dove gegebene Erklärung mitzutheilen. Sie gründet ſich auf ſorgfältige, täglich zehnmal angeſtellte Beobachtungen über die Feuchtigkeit der Luft und den Barometerſtand, durch welche es gelang, den Druck des Waſſerdampfes allein und den Druck der trocknen Luft zu beſtimmen, ſo daß die Wirkungen beider geſondert angegeben werden konnten. Der Druck der trocknen Luft nimmt nun, wie dieſe Beobachtungen zeigen, mit ſteigender Wärme ab; der Druck des Dampfes nimmt hingegen zu, weil durch die Wärme die Verdampfung begünſtigt wird, und da beide Wirkungen ſich entgegen laufen und einander faſt aufheben, ſo nehmen wir nur den geringen Ueberſchuß der ſtärkeren als Geſammtwirkung beider in den täglichen Schwankungen wahr. Die genauere Verfolgung des täglichen Ab- und Zunehmens dieſer Wirkungen zeigt nun auch, daß die höchſten und tiefſten

Barometerſtände zu den Zeiten eintreten müſſen, wo wir ſie beobachten, ferner erklärt ſich daraus einigermaßen der Einfluß der Jahreszeiten und der geographiſchen Lage des Beobachtungsortes. [1]

Außer der regelmäßigen täglichen Schwankung giebt es auch eine durch die Jahreszeiten bedingte jährliche Schwankung, die dadurch erkannt werden kann, daß man die aus allen Beobachtungen jedes einzelnen Monates hergeleiteten monatlichen Mittel mit einander vergleicht; auch dieſe Schwankung iſt in der heißen Zone am deutlichſten bemerkbar. Endlich ſcheint, beſonders nach Eiſenlohr's Beobachtungen, auch der Mond einen regelmäßigen, jedoch äußerſt ſchwachen Einfluß auf den Barometerſtand zu haben, der noch nicht hinreichend erklärt iſt, der aber wenigſtens gewiß nicht mit der ganz unbegründeten Meinung in Verbindung gebracht werden darf, daß zwiſchen der Witterung und den Mondphaſen ein naher Zuſammenhang ſtatt finde. Wenn man aus Beobachtungen, die wenigſtens ein Jahr hindurch täglich zu gut gewählten Stunden angeſtellt ſind, einen Mittelwerth ſo beſtimmt, daß durch die Menge der einzelnen Beobachtungen und durch ihre Anordnung der Einfluß der regelmäßigen und unregelmäßigen Schwankungen verſchwindet, ſo erhält man den **mittleren** Barometerſtand des Beobachtungsortes, aus deſſen Vergleichung mit dem mittleren Barometerſtande irgend eines andern Ortes der Höhenunterſchied beider hergeleitet werden kann.

Unregelmäßige Schwankungen des Barometers.

Auch die unregelmäßigen Schwankungen laſſen ſich wenigſtens einigen Geſetzen unterordnen. Vor Allem giebt ſich ein Zuſammenhang derſelben mit den Winden und Lufttemperaturen zu erkennen, denn wenn man aus allen bei beſtimmten Windrichtungen beobachteten Barometer- und Thermometerſtänden Mittelwerthe beſtimmt, ſo findet ſich für die nördliche Halbkugel, daß der höchſte Stand des Barometers und der tiefſte des Thermometers im Mittel auf Nordoſtwinde treffen, ſo daß ſich ſchon aus der Kälte der Luft der ſtärkere Druck einigermaßen erklären läßt; der tiefſte Stand des Barometers hingegen und der höchſte des Thermometers treten im Mittel bei Südweſtwinden ein. Da Zufälligkeiten in der Lage eines Ortes hierauf einigen Einfluß haben, ſo muß eigentlich für jeden Ort beſonders beſtimmt werden, welches Barometermittel jedem beſtimmten Winde entſpricht, und man erhält dann, nach Dove's Benennung, die barometriſche Windroſe des Ortes. Nimmt man hiermit das früher erörterte Geſetz der Drehung des Windes zuſammen, ſo läßt ſich erwarten, und dieß wird durch die Beobachtungen beſtätigt, daß das Barometer im Mittel bei Oſt-, Südoſt- und Südwinden fällt, weil die Drehung hier den Wind in Striche führt, bei denen das Barometer tiefer ſteht, daß es hingegen bei Weſt-, Nordweſt- und Nordwinden ſteigt, wodurch ſich die bekannte Erfahrung erklärt, daß das Steigen des Barometers im Allgemeinen

[1] Ueber eine von Muncke gegebene, weſentlich verſchiedene Erklärung vergleiche Gehler's phyſic. Wörterb. Art. Meteorologie S. 1901.

auf gutes Wetter deutet, da mit dem Steigen eine Drehung des Windes nach Norden und Oſten zuſammenhängt und dieſe Winde uns kältere und trocknere Luft, daher heitern Himmel bringen.

Die unregelmäßigen Schwankungen hängen außerdem von der Jahreszeit ab, indem ſie im Sommer im Allgemeinen größer als im Winter ſind, ſodann aber hauptſächlich von der geographiſchen Lage des Beobachtungsortes. Um eine Ueberſicht dieſes Einfluſſes zu erhalten, kann man am beſten den Unterſchied des höchſten und tiefſten Barometerſtandes in jedem Monate beſtimmen und aus den ſo erhaltenen zwölf Beſtimmungen eines Jahres einen Mittelwerth ziehen, der nun für den Beobachtungsort ſeine Gültigkeit behält, da die Erfahrung zeigt, daß die Mittelwerthe verſchiedner Jahre nur ſehr wenig von einander abweichen. Die ſo erhaltenen Mittelwerthe ſind am Aequator am kleinſten und betragen dort kaum 1 Linie, mit höhern Breiten nehmen ſie zu und betragen z. B. in Deutſchland 10 bis 11 Linien; die beſte Ueberſicht ihres Zuſammenhanges mit der geographiſchen Lage erhält man aber, wenn man die Orte, an denen dieſe mittleren Schwankungen gleich ſind, durch Linien (iſobarometriſche Linien) verbindet.

Als eine ſich allgemein beſtätigende Regel kann man noch anſehen, daß mit einem auffallend ſchnellen und tiefen Sinken des Barometers, welches zuweilen bis zu 2 Zoll unter den mittleren Stand geht, irgend eine heftige Bewegung in der Atmoſphäre, ein Sturm, wenn auch in entlegenen Gegenden, zuſammengehört. Man hat beobachtet, daß ſolche tiefe Barometerſtände von Ort zu Ort nach einer beſtimmten Richtung fortrücken, und ihr Zuſammentreffen mit Stürmen veranlaßt die Frage, ob eine plötzliche Erniedrigung des Luftdruckes an einer Stelle die Urſache des Herzuſtürzens der Luft aus andern Gegenden ſey, oder ob der aus andern Urſachen entſtandene Sturm erſt das Sinken des Barometers zur Folge habe. Nach der erſten Anſicht müßte man annehmen, daß durch eine nicht bekannte Urſache irgendwo eine ſtarke Verdünnung der Luft entſteht, die, indem ſie über die Erde fortrückt, an den Punkten, die ſie trifft, das Sinken des Barometers bewirkt, während aus den umliegenden Gegenden die Luft mit Heftigkeit herzuſtürzt, um das geſtörte Gleichgewicht wieder herzuſtellen. [1] Die andere Anſicht ſcheint beſonders durch Beobachtungen der unglaublich heftigen und eng begrenzten, bisweilen in der heißen Zone vorkommenden Orkane, welche von Redfield, Reid und Dove geſammelt worden ſind, beſtätigt zu werden, und hängt nahe mit der frühererörterten Theorie der Winde zuſammen. Dove zeigt nämlich, daß ein ſüdlicher Luftſtrom, indem er in höhern Breiten eine immer weſtlichere Richtung annimmt und durch die ruhenden Luftmaſſen, die er trifft, gehemmt wird, eine Wirbelbewegung annehmen muß, deren Centrum fortſchreitet und über den Ort, den es trifft, einen ſehr tiefen Barometerſtand und zugleich eine kurze Ruhe mitten im heftigſten Orkane bringt. Ringsherum hat der

[1] Brandes, Beiträge zur Witterungskunde S. 95 ff. Unterhaltungen für Freunde der Phyſik. Drittes Heft.

Orkan, wie es die Wirbelbewegung mit ſich bringt, ganz verſchiedene Richtungen und der Wind dreht ſich alſo ſehr ſchnell an einem beſtimmten Beobachtungsorte, während das Centrum des Wirbels fortrückt. Die wirklich beobachteten Windrichtungen ſprechen ſehr für eine ſolche, auf der nördlichen Halbkugel durch Süden, Oſten, Norden, Weſten, auf der ſüdlichen entgegengeſetzt umlaufende Wirbelbewegung, auch erklärt ſich die vorherrſchende Bewegung der ganzen Orkane von Südoſten nach Nordweſten daraus, daß in dieſer Richtung die Entſtehung der Wirbel am meiſten durch die Umſtände unterſtützt wird. Die Erniedrigung des Luftdruckes iſt dann hiernach nur eine begleitende Erſcheinung, nicht Urſache des Orkanes, und dunkel bleibt vielleicht nur die Verbindung, in welcher offenbar die Electricität mit dieſen Wirbeln ſteht, da man bei den erwähnten Orkanen heftige electriſche Erſcheinungen wahrnimmt und da das regelmäßige Entſtehen kleiner Wirbel bei Gewittern auf einen ſolchen Zuſammenhang hindeutet.

Siebzehnte Vorleſung.

Die Luftpumpe.

Nachdem wir uns in dem Vorhergehenden mit den Wirkungen und der Abmeſſung des durch die freie Atmoſphäre ohne künſtliche Hülfsmittel hervorgebrachten Druckes beſchäftigt haben, gehen wir am beſten zu den Erſcheinungen über, die bei der künſtlichen Verdünnung oder Verdichtung der Luft beobachtet werden, und zunächſt zur Beſchreibung des hiezu nöthigen Inſtrumentes, der Luftpumpe. Die ſehr zahlreichen Einrichtungen, die man der Luftpumpe geben kann, zerfallen in zwei weſentlich verſchiedene Claſſen, in Hahnluftpumpen und Ventilluftpumpen, und eine der erſten Claſſe ſtellt Figur 31 (auf Tafel IV.) dar. A B iſt hier das Gefäß, gewöhnlich eine Glasglocke, in welchem man die Erfolge, die ſich in verdünnter Luft ereignen, beobachten will; eine engere Röhre C, die durch einen Hahn geſchloſſen werden kann, ſetzt dieſes Gefäß in Verbindung mit dem Cylinder D E, in welchem der Kolben ſich hin und her bewegt. Dieſen Kolben ſetzt man am bequemſten durch ein gezahntes Rad in Bewegung, das in die Zähne der Kolbenſtange G eingreift und dieſe ſo gut hineinzuſchieben, als herauszuziehen dient. Der Hahn iſt doppelt durchbohrt, ſo nämlich (IV. Fig. 32), daß eine Bohrung c quer durchgeht, um einen graden Durchgang vom Gefäße zum Cylinder zu geſtatten, und eine zweite Bohrung gekrümmt von der Seite a nach b zu geht; der Eingang dieſer Bohrung iſt gegen den Cylinder gekehrt, wenn der Hahn um ein Viertel einer Drehung von der Stellung entfernt iſt, welche den graden Durchgang darbietet, und eben dieſer Eingang iſt nach der Glocke gekehrt, wenn man nach der andern Seite ein Viertel einer Drehung vollendet. Daß beide Bohrungen ſo neben einander vorbei

gehen müſſen, daß der eine Durchgang mit dem andern nirgends zuſammenkommt, werden Sie bei dem gleich anzugebenden Gebrauche von ſelbſt überſehen.

Wenn man die Luftpumpe zu gebrauchen anfängt, ſo iſt im Gefäße und im Cylinder Luft von natürlicher Dichtigkeit; ſoll nun die Luft in A B verdünnt werden, ſo fängt man damit an, den Hahn C ſo zu ſtellen, daß der gekrümmte Durchgang a b dem Cylinder zugewandt iſt, und dann ſchiebt man den Kolben bis nach D hinauf, wodurch alle im Cylinder befindliche Luft ins Freie getrieben und der Kolben möglichſt nahe an den Hahn C gedrängt wird. Man dreht nun den Hahn um ein Viertel ſeines Umfangs, damit der Durchgang zwiſchen dem Cylinder und dem Recipienten A B offen ſey; indem dann der Kolben zurückgezogen wird, ergießt ſich ein Theil der in A B enthaltenen Luft in den Cylinder, und wenn der Raum im Cylinder ebenſo groß als unter der Glocke A B iſt, ſo erhält dort die Luft eine nur halb ſo große Dichtigkeit, als vorher. Der Hahn wird hierauf in die erſte Stellung zurückgedreht, damit beim Zurückſchieben des Kolbens die Luft aus dem Cylinder durch die Oeffnung a b bei b ins Freie getrieben werde. Bei abermals hergeſtellter Verbindung zwiſchen dem Recipienten und dem Cylinder giebt man der ſchon verdünnten Luft aufs Neue Raum, ſich auszudehnen, und wenn ſie wieder den doppelten Raum findet, ſo kömmt ihre Dichtigkeit auf ein Viertel der natürlichen Dichtigkeit. So fährt man mit abwechſelnder Drehung des Hahnes und abwechſelndem Hin- und Herziehen des Kolbens fort, und erhält, wenn der Cylinder immer ebenſo viel Raum als der Recipient darbietet, die Luft bis zu $1/8$, bis zu $1/16$, bis zu $1/32$, bis zu $1/64$ der natürlichen Dichtigkeit bei den einzelnen Kolbenzügen verdünnt. Iſt das Gefäß A B klein, ſo daß der Cylinder zum Beiſpiel einen dreimal ſo großen Raum darbietet, als die Glocke, alſo die Luft ſich in den vierfach ſo großen Raum ausbreiten kann, ſo erhält man die Dichtigkeiten $1/4$, $1/16$, $1/64$, $1/256$ bei den auf einander folgenden Kolbenzügen; iſt das Gefäß dagegen groß, zum Beiſpiel doppelt ſo groß, als der Raum im Cylinder, ſo iſt die Dichtigkeit $2/3$, $4/9$, $8/27$, $16/81$, $32/243$, $64/729$, und erſt nach ſechs Kolbenzügen iſt die Dichtigkeit ungefähr $1/11$ der natürlichen Dichtigkeit.

Anſtatt des doppelt durchbohrten Hahnes kann man auch mit Vortheil einen gewöhnlichen Hahn gebrauchen und an dem obern Ende des Cylinders bei D eine kleine Oeffnung anbringen, die ſich durch einen eingeſchliffenen Stift verſchließen läßt; man muß dann jedesmal beim Niedergehen des Kolbens den Hahn öffnen und die Seitenöffnung durch den Stift ſchließen, beim Hinaufſchieben des Kolbens hingegen den Hahn ſchließen und den Stift herausziehen, um die Luft aus dem Cylinder ins Freie entweichen zu laſſen. Bei künſtlichern Hahnluftpumpen wird noch die Einrichtung angebracht, daß die Hähne mit der Kolbenſtange auf eine paſſende Art in Verbindung geſetzt werden und ſchon durch das Auf- und Abbewegen des Kolbens ohne weiteres Zuthun ſich zur rechten Zeit öffnen und ſchließen.

Die Ventilluftpumpe hat die Bequemlichkeit, daß hier, wie überhaupt, bei Ventilen, die gehörige Oeffnung und Schließung derſelben von ſelbſt geſchieht. Sie bedarf zweier Ventile, von denen eins am Boden des Cylinders, das andre im Kolben ſelber ſich befindet, und dieſe Ventile dürfen hier nicht, wie es bei gröbern Werkzeugen wohl ſtatt findet, Klappen, etwa von Leder oder dergleichen, ſeyn, ſondern man pflegt einen Streifen Blaſe ſo mit beiden Enden zu befeſtigen, daß er, durch den Druck der Luft von der einen Seite an die Ränder der Oeffnung angedrückt, der Luft keinen Ausgang geſtattet, dagegen durch den von der andern Seite kommenden Luftdruck geöffnet, ſie entweichen läßt. Wird nämlich (IV. Fig. 33) der Kolben A B nach der Mündung der Röhre, die zum Recipienten C D führt, zu gedrängt, ſo ſchließt ſich das bei E angebrachte Ventil und die im Cylinder befindliche Luft findet einen Ausweg durch das im Kolben angebrachte Ventil, welches die Durchbohrung des Kolbens von oben her verſchließt und ſich beim Andrange der Luft von unten her öffnet. Hat man ſo den Kolben bis unten hinabgedrückt, ſo würde beim Zurückziehen des Kolbens unter ihm ein luftleerer Raum entſtehen; aber die im Recipienten C D enthaltene Luft öffnet durch ihren Druck das Ventil bei E und ſtrömt in den Cylinder ein, ſo daß die Luft im Recipienten verdünnt wird. Geht der Kolben herab, ſo findet die im Cylinder enthaltene verdünnte Luft ihren Ausweg durch den Kolben und die Luft im Gefäße bleibt geſperrt; beim zweiten Zuge hinauf tritt von der verdünnten Luft wieder ein Antheil hervor, und ſo geht es bei jedem Zuge hinauf, bis endlich die Verdünnung ſo weit getrieben iſt, daß die ſehr verdünnte, allzuſchwach auf das Ventil E drückende Luft dieſes nicht mehr zu heben im Stande iſt. Soll wieder Luft in die Glocke hineingelaſſen werden, ſo dient dazu ein eigener an der Röhre unter dem Teller C D angebrachter Hahn. Man verbindet bei dieſer Einrichtung gern zwei Cylinder oder Stiefel, wie man ſie bei der Luftpumpe zu nennen pflegt, damit, während im einen die Luft durch das Ventil des Kolbens fortgeſchafft wird, im andern der Kolben zu neuer Verdünnung thätig ſey. Offenbar muß dann die Wirkung doppelt ſo ſchnell vor ſich gehen, und wiewohl es nicht ſo gewöhnlich iſt, kann man ſich doch auch bei Hahnluftpumpen deſſelben Vortheils bedienen.

Alle dieſe Einrichtungen charakteriſiren ſich dadurch, daß in ihnen die Kolbenbewegung nur in der einen Richtung zur Verdünnung wirkt, während ſie in der andern Richtung bloß die Luft aus dem Stiefel austreibt, man nennt ſie daher einfachwirkende. Die doppeltwirkenden Luftpumpen, bei denen jede Bewegung des Kolbens Verdünnung bewirkt, müſſen vor allem einen an beiden Enden geſchloſſenen Stiefel haben, durch deſſen Boden die Kolbenſtange luftdicht hindurchgeht, übrigens können ſie einſtieflig oder zweiſtieflig, ſie können bloß mit Hähnen oder auch mit Ventilen und Hähnen verſehen ſeyn, und ich begnüge mich, Ihnen zwei weſentlich verſchiedene von dieſen Einrichtungen zu beſchreiben. Bei der einen derſelben iſt nur nöthig, daß von beiden Enden des Stiefels aus eine Röhre unter die zu entleerende

Glocke geführt, und daß jede unmittelbar an dem Punkte, wo ſie aus dem Stiefel tritt, durch einen doppelt durchbohrten Hahn verſchloſſen werde; wenn man dann durch den Hahn, nach welchem ſich der Kolben hinbewegt, die Communication mit der äußern Luft, durch den andern zugleich die Communication mit der Glocke herſtellt, ſo wird der Kolben bei jeder Bewegung die Luft vor ſich aus dem Stiefel ins Freie treiben, während der Raum hinter dem Kolben ſich mit einem Theile der Luft aus der Glocke füllt. Die andre von Mohr angegebene Einrichtung (I. Fig. 25) fordert zwei Ventile a und b, am beſten Kegelventile, von denen das untere b durch eine Feder angedrückt wird. Die Kolbenſtange bewegt ſich luftdicht durch die Bodenplatte des Stiefels, der Kolben legt ſich an beiden Enden dicht an die ebengeſchliffenen Flächen an, und bei c iſt die Röhre nach dem Recipienten herausgeführt, welche durch einen einfachen Hahn dicht am Stiefel geſchloſſen wird. Wenn hier der Kolben von c nach b geht, wird die Luft aus b ausgetrieben, und man muß den Hahn c öffnen, um Luft aus der Glocke in den obern Raum des Stiefels treten zu laſſen; während der Kolben von b nach c zurückgeht, wird c geſchloſſen, ſobald er aber über c hinaus iſt, wird c geöffnet, bis der Kolben nach a gekommen iſt, und ſo dringt zum zweiten Male Luft aus der Glocke in den entleerten Stiefel, während die Luft, die ſich in demſelben befand, aus a ausgetrieben wird.

Durch die beſte Luftpumpe kann aber ein Gefäß doch nie vollkommen luftleer gemacht werden, ſchon in Folge des Geſetzes, nach dem, wie wir ſahen, die Verdünnung fortſchreitet, beſonders jedoch weil die techniſche Ausführung der Luftpumpen manche unvermeidliche Hinderniſſe mit ſich bringt, von denen der ſogenannte ſchädliche Raum eins der bedeutendſten iſt. Man verſteht darunter jeden kleinen Raum, der zwiſchen der Kolbenfläche und der Bodenfläche des Stiefels oder zwiſchen dem Kolben und den verſchließenden Hähnen und Ventilen übrig bleibt und ſich daher bei dem Austreiben der Luft aus dem Stiefel mit Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit oder wohl gar mit etwas comprimirter Luft füllt. Dieſe Luft dringt dann in den Recipienten hinein, ſobald beim Zurückgehen des Kolbens die Communication zwiſchen dem Stiefel und Recipienten hergeſtellt wird, und betrüge alſo der ſchädliche Raum $^1/_{300}$ vom innern Raume des Stiefels und Recipienten, ſo würde man ſchon deswegen die Luft nicht weiter als bis auf $^1/_{300}$ ihrer gewöhnlichen Dichtigkeit verdünnen können. Hiezu kommt, daß Kolben, Hähne und Ventile nie längere Zeit hindurch vollkommen ſchließen, und daß auch die auf den ebengeſchliffenen Teller der Luftpumpe aufgeſetzte Glocke geringe Spuren von Luft einlaſſen wird, wenn man ſich auch bemüht, ein beſſeres Schließen dadurch zu bewirken, daß man den geſchliffenen Rand der Glocke mit Fett beſtreicht. Als Reſultat der Erfahrung, welches durch alle dieſe Umſtände ſehr wohl erklärlich wird, ergiebt ſich, daß durch die beſten Luftpumpen eine Verdünnung bis auf $^1/_{400}$, allerhöchſtens bis auf etwa $^1/_{600}$ der gewöhnlichen Dichtigkeit bewirkt wird, und die weſentlichen Bedingungen zur Erreichung

ſolcher Wirkungen ſind vollkommene Dichtigkeit aller Verſchließungen und möglichſte Vermeidung alles ſchädlichen Raumes; die letztere dieſer Bedingungen wird beſonders durch die von Mohr angegebene Einrichtung erfüllt.

Mittel, den Grad der Verdünnung zu beſtimmen.

Das beſte Mittel, um den Grad der erlangten Verdünnung der Luft zu meſſen, iſt die Barometerprobe. Wir ſind gewohnt, in unſerm Barometer, wo der ganze Druck der Atmoſphäre das Queckſilber in die Höhe treibt, dieſes gegen 28 Zoll hoch zu ſehen; aber wenn der Druck der Luft abnimmt, ſo ſinkt das Barometer. Stellt man daher unter einer hohen Glocke ein wirkliches Barometer, eine unten in Queckſilber getauchte und damit gefüllte, oben geſchloſſene Röhre auf, ſo ſinkt das Queckſilber im Barometer bei jedem Kolbenzuge. Bei den meiſten Verſuchen will man nicht das allmälige Abnehmen des Druckes, ſondern nur den zuletzt erreichten Grad der Verdünnung der Luft wahrnehmen, und dazu reicht ein nur einen Zoll hohes Barometer hin. Es ſey (IV. Fig. 34) die kurze Röhre A B C ſo, wie ein Barometer, mit ausgekochtem Queckſilber gefüllt, ſo wird das Queckſilber ſich an die obere Wölbung A der zugeſchmelzten Röhre dicht anlegen, weil der bei C wirkende Druck der Atmoſphäre das Queckſilber ja viel höher erhalten könnte. Ich will annehmen, die Höhe des oberſten Punktes A über C ſey = 1 Zoll. Wenn dieſes kleine Barometer ſich unter der Glocke der Luftpumpe befindet, ſo bleibt die Röhre bei A, auch bei anfangender Verdünnung der Luft, noch immer gefüllt, bis die Luft nur noch $1/28$ ihrer natürlichen Dichtigkeit hat oder ſtatt 28 Zoll nur noch 1 Zoll Queckſilber zu tragen im Stande iſt; wird die Verdünnung weiter fortgeſetzt, ſo ſieht man das Queckſilber bei A fallen, bei C ſteigen, und der Unterſchied der Höhen beider Queckſilberſäulen giebt den Druck der noch übrigen Luft an. Es giebt viele Verſuche, bei denen man ſich begnügen kann, dieſes Barometer bis auf $1/2$ Zoll herabgebracht zu haben; aber es giebt auch einige (namentlich das Gefrieren des Waſſers im luftleeren Raume bei einer in der Umgebung der Luftpumpe auf 15, 18 und mehr Grade ſteigenden Temperatur), die nur gelingen, wenn das Barometer bis zu 1 Linie oder wenigſtens $1\frac{1}{2}$ Linie herabgeſunken iſt.[1] Eine recht gute Luftpumpe muß nicht nur geſtatten, daß die Verdünnung bis zu dieſem Punkte gelange, ſondern dieſe Verdünnung muß auch geraume Zeit durch ſich ungeändert erhalten. Bei Luftpumpen, wo die Hähne nicht ganz dicht ſchließen, geht bei jedem Kolbenzuge zwar das Barometer bedeutend herunter, aber es ſteigt wieder, wenn man bei geſchloſſenen Hähnen der Luft allen Zutritt verwehrt zu haben glaubt; bleibt das Queckſilber auf der einmal erreichten geringen Höhe, ſo iſt es offenbar, daß kein Zutritt der Luft ſtatt findet, und dieß iſt daher ein Mittel, die Güte einer Luftpumpe zu probiren.

[1] Der eben erwähnte Verſuch gehört in die Lehre von der Wärme.

Statt dieſer kleinen unter die Glocke zu ſtellenden Barometerprobe wendet man oft ein langes Glasrohr S T an, das ſich (IV. Fig. 31) mit ſeinem oberen offenen Ende unter der Glocke A B befindet, unten bei S aber in ein Gefäß mit Queckſilber getaucht iſt. So lange noch keine Luft ausgepumpt iſt, ſteht das Queckſilber im Gefäße ebenſo hoch, als in der an beiden Enden offenen Röhre; aber ſowie die Luft im Recipienten A B verdünnt wird, ſteigt das Queckſilber in der Röhre, und je dünner die Luft dort wird, deſto mehr nähert ſich die Höhe des Queckſilbers in dieſer Röhre der vollſtändigen Höhe des Queckſilbers im Barometer; denn dieſe würde ja genau erreicht werden, wenn oberhalb des in die Röhre hinaufgeſtiegenen Queckſilbers ſtatt verdünnter Luft ein wahrhaft luftleerer Raum wäre.

Um die Verdünnung der Luft zu meſſen, hat man noch ein andres Inſtrument angegeben. Man bediene ſich ſtatt der oben ganz geſchloſſenen Glocken eines Recipienten, in deſſen oberem Boden ein luftdicht durchgehendes Stäbchen A B angebracht iſt (IV. Fig. 36), und ſtelle unter dieſen Recipienten ein Gefäß mit Queckſilber D E grade ſo, daß die Mündung F G des an jenem Stäbchen befeſtigten gläſernen Gefäßes F G H ſich über dem Queckſilber befindet. Das letztere Gefäß beſteht unten aus einem weiteren Theile F G und endigt ſich oben in eine enge bei H zugeſchmelzte Röhre. Wird nun die Luft aus dem Recipienten I K ausgepumpt, ſo wird auch das Gefäß F G H in eben dem Grade luftleer; aber wenn man nach vollendetem Auspumpen das Gefäß mit ſeinem Rande F G in das Queckſilber D E eintaucht, ſo kann, während der Recipient ſich mit Luft füllt, keine Luft in dieſes Gefäß gelangen, und der Druck der Luft treibt das Queckſilber in dem Gefäße hinauf, wobei die im Gefäße noch übrige, im verdünnten Zuſtande das ganze Gefäß füllende Luft ſich bei H in einen ſehr engen Raum zuſammengedrängt findet. Dieſe Luft bringt man durch Einſenken des Gefäßes in das Queckſilber zur Dichtigkeit der umgebenden freien Luft, mit welcher ſie dann gleiche Dichtigkeit hat, wenn das Queckſilber innen und außen gleich hoch ſteht, und bemerkt jetzt den Raum, den ſie einnimmt; die auf der Röhre bezeichneten Tauſendtel des ganzen inneren Raumes des Gefäßes geben dann an, wie ſich das jetzige Volumen zu dem vorhin eingenommenen Raume verhält, und geben eben dadurch den Grad der Verdünnung an.

Dieſe von Smeaton unter dem Namen der Birnprobe angegebene Beſtimmung der Verdünnung giebt die Menge der noch übrig gebliebenen Luft richtig an, ſtatt daß die Barometerprobe den Druck angiebt, den die in verdünnter Luft leicht hervorgehenden Dämpfe in Verbindung mit der noch übrigen Luft ausüben. Wenn die Barometerprobe die Elaſticität = $1/500$ der zu Anfang ſtattfindenden angiebt, ſo iſt die Luft nicht mehr völlig ſo dicht, als man hiernach annehmen würde, ſondern ein Theil dieſes Druckes gehört den entwickelten Dämpfen. Smeaton nannte ſein Inſtrument, das übrigens jetzt faſt außer Gebrauch gekommen iſt, die Birnprobe, weil es ungefähr die Geſtalt einer Birne hatte.

Mancherlei Verſuche mit der Luftpumpe.

Die Verſuche, zu welchen man die Luftpumpe anwendet, ſind höchſt mannigfaltig. Um die große Gewalt des Druckes der Atmoſphäre zu zeigen, ſchraubt man als auszuleerenden Recipienten ein Gefäß auf, das an einer Seite durch ein ebnes Glas geſchloſſen iſt; wenn die Luft aus demſelben ausgepumpt wird, ſo wird dem Drucke der Luft von außen nicht mehr durch den Druck der Luft von innen das Gleichgewicht gehalten, und das Glas wird zerdrückt. Oder man ſpannt über das auszuleerende Gefäß eine Blaſe; ſobald die Luft ausgepumpt wird, ſieht man dieſe durch den Druck der äußern Luft hineingedrängt, und nachdem ſie, ihrer Dehnbarkeit wegen, zuerſt ſehr geſpannt hineingedrängt iſt, zerplatzt ſie. Man darf daher keine Glasgefäße mit ebenen Seiten anwenden, welche gewiß zerbrochen würden; die Wölbungen widerſtehen dem Drucke von außen beſſer.

Eben dieſen ſtarken Druck der Atmoſphäre zu zeigen, waren vorzüglich Guerike's Verſuche beſtimmt, der als Erfinder der Luftpumpe ſich bemühte, auffallende Wirkungen, welche durch dieſelbe hervorgebracht wurden, zu zeigen. Am berühmteſten unter ſeinen Verſuchen iſt der mit den Guerike'ſchen Halbkugeln geworden. Er ließ zwei metallene Halbkugeln von einer Elle Durchmeſſer verfertigen, die mit abgeſchliffenen Rändern dicht an einander anſchloſſen und durch zwiſchengelegtes Leder luftdicht gemacht wurden. An beiden waren Ringe zum Anſpannen von Pferden angebracht, und eine mit einem Hahne verſehene Oeffnung erlaubte, ſie, nachdem ſie an die Luftpumpe geſchraubt waren, luftleer zu machen. Nachdem dieß geſchehen und der Hahn geſchloſſen war, wurden an beiden Halbkugeln nach entgegengeſetzten Richtungen Pferde angeſpannt, und bei einem ſolchen Verſuche konnten 24 Pferde ſie nicht aus einander reißen. Der Druck der Luft wirkte hier ſo ſtark zum Zuſammenhalten der Kugeln, wie er auf einen Kreis von einer Elle Durchmeſſer wirken würde, da aber dieſer Kreis 450 Quadratzoll enthält, worauf die Luft mit faſt 7000 Pfund Kraft drückt, ſo konnten allerdings 12 Pferde an jeder Seite dieſen Druck nicht überwinden, ſelbſt wenn die Luft nicht einmal in ſo hohem Grade verdünnt war. Andre Verſuche Guerike's, wo die Luft ein großes Gewicht trug, kommen auf eben das hinaus.

Wenn man eine gute Luftpumpe beſitzt, deren Kolben nicht mit allzu großer Reibung geht, ſo findet man, daß er, wenn die Luft ſtark verdünnt iſt, ohne alle angewandte Kraft zurückgetrieben wird, wenn man ihn nach dem Hervorziehen aus dem Cylinder frei läßt. Dieſes iſt die Wirkung der auf ihn drückenden Luft, die von innen, wo faſt gar keine Luft iſt, keinen Widerſtand leidet. Hat der Cylinder einen Durchmeſſer von 3 Zoll, ſo iſt der Druck auf den Kolben ungefähr 110 Pfund, und ſo viel Laſt müßte der Kolben mit ſich hinaufziehen können, wenn nicht die doch immer ſehr erhebliche Reibung ein großes Hinderniß hervorbrächte.

Man hat bei den Dampfmaſchinen von dieſem Drucke der Luft Gebrauch gemacht, um den Kolben zurückzutreiben. Iſt nämlich durch die Elaſticität des unter

dem Kolben zugelaſſenen Dampfes der Kolben gehoben worden, ſo hat man unter demſelben einen faſt ganz luftleeren Raum, und wenn man durch Abkühlung dem Dampfe ſeine Elaſticität raubt, ſo wird der Kolben herabgedrückt, weil faſt gar keine elaſtiſche Flüſſigkeit im Raume unter dem Kolben dem Drucke der Luft auf denſelben Widerſtand leiſtet.

Der große Druck, den unſer ganzer Körper von der über uns befindlichen Luft leidet, wird uns nicht fühlbar, weil im Innern unſeres Körpers in allen Gefäßen und Flüſſigkeiten deſſelben ſich Luft von eben der Elaſticität wie die äußere Luft befindet; legt man aber die Hand auf eine oben offene Glocke und pumpt unterhalb der Hand die Luft weg, ſo bemerkt man den Druck der Luft auf doppelte Weiſe, erſtlich dadurch, daß die Hand feſt gegen das luftleere Gefäß angedrückt wird, ſo daß man nicht vermögend iſt, ſie wegzuheben, zweitens dadurch, daß man, bei bedeutender Verdünnung der Luft und etwas längerer Dauer des Verſuches, die Haut röther, das Blut mehr in die Gefäße der Haut hereingetrieben findet. Daß man die Hand nicht von der Oeffnung losreißen kann, läßt ſich leicht erklären; denn wenn die Luft auch nur bis zu einem Zehntel der natürlichen Dichtigkeit gebracht iſt, ſo übt doch die äußere Luft auf jeden Quadratzoll $13\frac{1}{2}$ Pfund Druck mehr als die innere aus, und wenn die Oeffnung 4 Quadratzolle beträgt, ſo müßte unſre Hand 54 Pfunde heben, wozu ſie bei der unvortheilhaften Lage, die ſie hat, nicht im Stande iſt. Das Hervordrängen des Blutes in die Gefäße der Haut, welches beim Schröpfen aus ähnlichen Gründen noch auffallender ſtatt findet, iſt eine Folge der Elaſticität der im Innern des Körpers enthaltenen Luft, welche ſich gegen die Oberfläche, die jetzt weniger Druck leidet, hervordrängt. Man hat dieſes Hervordrängen des Blutes an den Stellen, wo der Druck der Luft auf die Haut weggehoben iſt, als ein Mittel, das Gift aus Wunden (z. B. beim Biſſe giftiger Thiere) fortzuſchaffen, angewandt, und es läßt ſich wohl überſehen, daß dieſes wirkſamer als ein gewöhnliches Ausſaugen ſeyn muß, wenn es früh genug geſchieht. Einen ähnlichen Erfolg des verminderten Luftdruckes leiden diejenigen, welche ſehr hohe Berge erſteigen, indem ſie theils ein Herandrängen des Blutes zu den feinen Aederchen des Auges und dadurch einige Entzündung des Auges empfinden, theils einen Druck im Ohre fühlen, welcher von der im Innern des Ohres enthaltenen Luft herrührt, die nicht ſo ſchnell ſich mit der äußern Luft ins Gleichgewicht ſetzen kann.

Dieſes Hervordringen der Luft aus dem Innern der Körper zeigt ſich unter der Luftpumpe noch bei zahlreichen andern Experimenten. Wenn man Holz, das an der Luft ausgetrocknet iſt, oder ein Ei durch ein daran befeſtigtes Gewicht unter Waſſer erhält und es ſo im Waſſer unter die Glocke der Luftpumpe bringt, ſo gehen zahlreiche Luftblaſen daraus hervor, ſobald man die Luft unter der Glocke verdünnt. Läßt man, nachdem dieß einige Zeit fortgeſetzt iſt, die Luft wieder zu, ſo füllen ſich die vorhin luftvollen Poren beſonders beim Holze mit Waſſer. Man hat ein dieſem Experimente ähnliches Verfahren angewandt, um bei der Bereitung von Extracten das Eindringen

der extrahirenden Flüſſigkeiten in die Poren zu erleichtern, ferner um Tuche beim Färben recht vollkommen durchzufärben. Legt man nämlich das Tuch in die färbende Flüſſigkeit und bringt es ſo untergetaucht in den luftleeren Raum, ſo entwickelt ſich alle im Tuche enthaltene Luft, und nach Hinzulaſſung der Luft drängt ſich die Flüſſigkeit in alle Zwiſchenräume, wohin ſie ſonſt nicht ſo leicht gedrungen wäre.

Selbſt reines Waſſer, wenn es nicht etwa kurz vor dem Verſuche ausgekocht iſt, enthält viel Luft, die man in immer größern Blaſen, je mehr die Verdünnung der Luft zunimmt, hervordringen ſieht. Wird die Luft in hohem Grade verdünnt, ſo geht dieſes Heraufſteigen der Blaſen in ein wahres Kochen, jedoch ohne vermehrte Wärme, über. Das Kochen nämlich entſteht aus einem Entwickeln von Dämpfen im Innern der Flüſſigkeit; dieſe Dampfentwickelung kann erſt ſtatt finden, die Dampfblaſen können erſt aufſteigen, wenn ihre Elaſticität den Druck der äußern Luft übertrifft, und daher tritt bei dem gewöhnlichen Luftdrucke das Kochen erſt dann ein, wenn durch große Wärme die Elaſticität der Dämpfe einen hohen Grad erreicht hat; iſt aber der äußere Druck gering, ſo reicht ſchon die gewöhnliche Wärme der Atmoſphäre hin, um jene Dampfbildung, das wahre Aufkochen, zu bewirken. Der luftleere Raum iſt daher ein Beförderungsmittel des Abdampfens, und wenn man Flüſſigkeiten hat, die durch die gewöhnliche Kochwärme leiden würden, ſo iſt es doppelt wichtig, ſie in einem luftleeren Raume bei mäßiger Wärme verdampfen zu laſſen. Man hat dabei nicht einmal immer die Luftpumpe nöthig, ſondern wenn man (V. Fig. 1) die abzudampfende Flüſſigkeit in das Gefäß A B gethan hat, welches mit einem zweiten Gefäße C in Verbindung ſteht, ſo bringt man nur an die Röhre D eine Zeit lang ein Gefäß mit kochendem Waſſer an, damit der ganze Raum D E F G ſich mit heißen Dämpfen fülle; dieſe treiben durch einen bei I geöffneten Hahn die Luft aus, deren Stelle ſie einnehmen. Verſchließt man nun, nachdem die Dämpfe einige Zeit recht heiß durchgeſtrichen ſind, die Hähne H und I, ſo ſchlägt der erkaltende Dampf ſich bald nieder und läßt einen luftleeren Raum zurück, und damit nun die in dieſem luftleeren Raume erzeugten Dämpfe ſich in dem Gefäße C condenſiren, ſtellt man dieſes in Eis, indem dadurch in G der Dampf zu tropfbarer Flüſſigkeit wird und immer neue Dampferzeugung in E erfolgt.

Jene Entwickelung von Luftblaſen zeigt ſich bei Bieren und Mineralwaſſern noch lebhafter, aber das auf dieſe Weiſe ſeiner Luft beraubte Bier iſt nun in wenigen Augenblicken ſchaal geworden.

Man kann die bei vermindertem äußern Drucke hervorgehende Ausdehnung eingeſchloſſener Luft auch dadurch ſichtbar machen, daß man eine zugebundene Blaſe, die faſt gar keine Luft zu enthalten ſcheint, unter die Glocke der Luftpumpe bringt. Wird nämlich dieſe Blaſe nicht mehr von dem Drucke der äußern Luft zuſammengepreßt, ſo ſchwellt ſie durch die wenige, in den Falten übrig gebliebene Luft an, und zeigt ſogar Elaſticität genug, um ein bedeutendes Gewicht zu heben. Bei lebenden Thieren ſieht man im luftleeren

Raume eben dieſe Ausdehnung der im Innern enthaltenen Luft an ihrem Aufſchwellen, an dem Hervortreiben der Augen u. ſ. w., und eine eigenthümliche Wirkung bringt ſie bei den mit einer Schwimmblaſe ausgeſtatteten Fiſchen hervor. Die mit Luft gefüllte Schwimmblaſe dient den Fiſchen, um ſich durch deren Ausdehnung im Waſſer zu erheben, durch ihre Zuſammenziehung niederzuſteigen; bringt man nun einen ſolchen Fiſch im Waſſer ſchwimmend unter die Glocke der Luftpumpe und verdünnt die Luft, ſo dehnt ſich ohne Zuthun des Fiſches die Schwimmblaſe aus und er kommt wider Willen an die Oberfläche des Waſſers, wobei nach und nach die Luft aus der Schwimmblaſe entweicht. Läßt man zuletzt wieder Luft in die Glocke treten, ſo wird die faſt entleerte Schwimmblaſe durch den äußern Luftdruck zuſammengedrückt und der Fiſch ſinkt zu Boden. Ein ganz analoger Verſuch kann mit Glaskörpern angeſtellt werden, die hohl und faſt ganz mit Luft gefüllt ſind, die aber durch ein feines Röhrchen mit dem Waſſer, in welchem ſie mit geringem Uebergewicht unterſinken, in Verbindung ſtehen (die ſogenannten Carteſianiſchen Teufelchen).

Beſtimmung des Gewichtes einer Luftmaſſe.

Dieſe Verſuche laſſen ſich auf mannigfaltige Weiſe abändern, da ſie aber alle nur eins und daſſelbe zeigen, ſo gehe ich zu einem weſentlich verſchiedenen Verſuche über, wodurch man das wahre Gewicht einer beſtimmten Quantität Luft zeigt. Man ſchraubt eine mit einem Hahne verſehene hohle Kugel von erheblicher Größe an die Luftpumpe und verdünnt die Luft in derſelben, hängt ſie dann an die Waagſchaale und wägt ſie genau ab, alsdann öffnet man den Hahn, um die Luft einzulaſſen, und indem man das vorige Gegengewicht nun nicht mehr zureichend findet, ſondern einige Drachmen oder ſelbſt Unzen nachlegen muß, erhält man das Gewicht der in die Kugel neu eingetretenen Luft. Dieſer Verſuch, den man gewöhnlich nur oberflächlich anſtellt, um zu zeigen, daß bei einer Kugel von 1 Cubikfuß Inhalt das Gewicht der ausgepumpten Luft eine Unze übertrifft, iſt einer viel größern Genauigkeit fähig. Um dieſe zu erreichen, muß man zuerſt den innern Raum der Kugel ſehr genau ausmeſſen, und dieß geſchieht am beſten, indem man ſie mit Waſſer füllt; hat man ihr Gewicht beſtimmt, als ſie leer war, und beſtimmt man eben dieſes Gewicht, nachdem ſie mit Waſſer gefüllt iſt, ſo erhält man, weil das Gewicht von 1 Cubikzoll Waſſer bekannt iſt, den Cubikinhalt der Kugel; es verſteht ſich, daß man dabei die Wärme des Waſſers beobachten muß, weil wärmeres Waſſer leichter iſt. Wenn man ſo den genauen Inhalt der Kugel und das Gewicht der leeren Kugel kennt, ſo ſcheint es hinreichend, wenn man ſie nur auspumpte und wieder wöge; aber da man nie die Luft ganz auspumpen kann, ſo reicht dieſes nicht hin, ſondern man muß auch den Grad der Verdünnung der Luft kennen. Man öffnet daher, nachdem man die mit ſehr verdünnter Luft gefüllte Kugel gewogen hat, ihren Hahn unter Waſſer, läßt das Waſſer durch den Druck der Luft hineindrängen, und beſtimmt, indem

man ſie ſo eintaucht, daß die innere Waſſeroberfläche mit der äußern gleich hoch iſt, wie viel Luft im Innern noch übrig geblieben iſt. Fände man das Gewicht des ſo eingedrungenen Waſſers nur $^7/_8$ deſſen, was zur völligen Füllung der Kugel erforderlich iſt, ſo ſchlöſſe man, daß die Luft noch $^1/_8$ der natürlichen Dichtigkeit übrig hatte, und daß man das gefundene Gewicht der luftvollen Kugel hiernach nur als das Gewicht derjenigen Luft, die $^7/_8$ des Raumes füllte, anſehen muß. Auf dieſe Weiſe lernt man das Gewicht eines Cubikfußes Luft genau kennen, und wenn man ſich erinnert, daß die Luft bei höherem Barometerſtande nach Verhältniß des Druckes ſchwerer iſt, und daß ſie ebenſo bei jedem geringeren Wärmegrade ſchwerer (bei jedem Reaumur'ſchen Grade um $^1/_{213}$ ſchwerer) iſt, ſo hat man alle Mittel, um die Dichtigkeit der Luft zu jeder Zeit zu beſtimmen. Nach genauen Verſuchen iſt das ſpecifiſche Gewicht der Luft von 0° Wärme bei einem Barometerſtande von 28 par. Zoll in Vergleichung mit Waſſer von größter Dichtigkeit (bei 4° C.) = 0,0012957, d. h. Waſſer iſt 771,8 mal ſo ſchwer, Queckſilber 10465 mal ſo ſchwer und 1 preuß. Cubikfuß Luft von der angegebenen Beſchaffenheit wiegt 0,0856 preuß. Pfunde, mithin 12 Cubikfuß Luft ziemlich genau ein Pfund.

Auf ganz ähnliche Art kann man das ſpecifiſche Gewicht anderer Luftarten, z. B. des Waſſerſtoffgaſes, beſtimmen. Man macht zu dem Zweck den Ballon ſo gut als möglich luftleer und füllt ihn mit dem vollkommen reinen und trockenen Gaſe an; da aber dann immer noch eine Miſchung im Ballon ſeyn würde, welche einen kleinen Antheil, vielleicht $^1/_{300}$ atmoſphäriſche Luft enthält, ſo pumpt man den Ballon zum zweiten Male aus und füllt ihn zum zweiten Male mit Waſſerſtoff, wo dann nur noch $^1/_{300}$ von einem Dreihundertel, alſo $^1/_{90000}$ atmoſphäriſcher Luft zurückbleiben würde, welches man vernachläſſigen kann. Das Gewicht des leeren Ballons von dem des mit Waſſerſtoff gefüllten abgezogen giebt wie vorhin das Gewicht der eingeſchloſſenen Luftmaſſe, und man hat nur darauf zu ſehen, daß letztere im Ballon dem normalen Drucke von 28 Zoll Queckſilber unterworfen ſey; dividirt man endlich das Gewicht dieſer Luftmaſſe mit dem eines gleich großen Volumens atmoſphäriſcher Luft, ſo erhält man das ſpecifiſche Gewicht der geprüften Luftart, indem bei der Angabe der ſpecifiſchen Gewichte von Luftarten immer das der atmoſphäriſchen Luft als Einheit angenommen zu werden pflegt. Bei Waſſerſtoff findet man das ſpecifiſche Gewicht = 0,0688, alſo wiegt 1 preuß. Cubikfuß Waſſerſtoff bei 0° Wärme und 28 Zoll Druck 0,00589 preuß. Pfunde oder faſt $^1/_5$ Loth und 170 Cubikfuß wiegen faſt genau 1 Pfund.

Gewichtsverluſt in der Luft.

Die Kenntniß des wahren Gewichtes der Luft dient noch zu Beantwortung einer Frage, nämlich wie viel Ungleichheit im Gewichte der Körper wir bei Abwägungen in der Luft und im luftleeren Raume finden müßten. Wenn wir in der Luft an einer gleicharmigen Waage Gold an dem einen Arme und einen ſehr leichten Körper am andern Arme ins Gleichgewicht bringen, dann

aber beide Körper ins Waſſer tauchen, ſo zeigt, wie Sie wiſſen, das Gold ein großes Uebergewicht; und ebenſo, wenngleich in geringerem Maaße, würden Gold und Kork, im luftleeren Raume ins Gleichgewicht gebracht, nicht mehr im Gleichgewichte bleiben, wenn man die Waage mit dieſen Körpern in einen luftvollen Raum brächte. Auch in der Luft verliert jeder Körper ſo viel an Gewicht, als die Luft wiegt, die er aus der Stelle treibt; ein Cubikzoll Blei treibt nur ungefähr ein Gewicht von $^{3}/_{10}$ Gran Luft aus der Stelle, aber da von Kork über 40 Cubikzoll erforderlich ſind, um einem Cubikzoll Blei das Gleichgewicht zu halten, dieſe 40 Cubikzoll Kork aber 12 Gran Luft aus der Stelle treiben, ſo würde man beim Abwägen von 1 Cubikzoll Blei gegen 40 Cubikzoll Kork ungefähr ein Gewicht von 12 Gran zu viel Kork haben, wenn man die Abwägung in der Luft vorgenommen hätte. Man überzeugt ſich hievon mit Hülfe der Luftpumpe, wenn man eine Waage, an welcher eine große, aber ſehr leichte hohle Kugel einem ſchweren Körper, Blei zum Beiſpiel, gegenüberhängt, unter den Recipienten der Luftpumpe bringt; fand in der Luft das Gleichgewicht ſtatt, ſo ſieht man im luftleeren Raume den größern Körper ſinken, weil vorhin die Luft auf ihn mehr tragende Kraft ausübte. Iſt der größere Körper eine Kugel von 3 Zoll Durchmeſſer, alſo ungefähr von 14 Cubikzoll Inhalt, ſo ſind 4 Gran erforderlich, um im ganz luftleeren Raume das Gleichgewicht herzuſtellen, wenn das Gegengewicht ſehr wenig Raum einnimmt. Dieſe Gewichtsverminderung durch die Luft muß, ſo gering ſie iſt, bei genauen Wägungen doch berückſichtigt werden, und zwar deſto mehr, je mehr ſich das Volumen des gewogenen Körpers von dem der angewandten Gewichte unterſcheidet. Man reducirt daher durch eine Rechnung das Gewicht des Körpers auf den luftleeren Raum, d. h. man beſtimmt, wie viel er im luftleeren Raume wiegen würde, und es iſt alſo, da der Gewichtsverluſt von der Dichtigkeit der Luft und dem Volumen des Körpers abhängt, bei jeder genauen Wägung erforderlich, daß man Barometer- und Thermometerſtand, ſpecifiſches Gewicht des gewogenen Körpers und der Gewichte und die Ausdehnung beider durch die Wärme kenne.

Wenn eine große hohle Kugel an einem Waagebalken durch ein Bleigewicht balancirt wird, ſo daß im luftleeren Raume der Balken horizontal ſteht, ſo muß man in der freien Luft etwas Gewicht an der Seite der Hohlkugel zulegen, um das Gleichgewicht herzuſtellen, und zwar deſto mehr, je dichter die Luft iſt. Durch die Größe dieſes Zulagegewichts kann alſo die Dichtigkeit der Luft gemeſſen werden, und man hat darauf unter dem Namen Manometer ein Inſtrument gegründet, das aber nur wenig in Gebrauch gekommen iſt.

Verſchwinden des Luftwiderſtandes bei ſtarker Verdünnung.

Endlich muß ich noch eine Art von Verſuchen, die man mit der Luftpumpe anzuſtellen pflegt, erwähnen, nämlich die, welche den Widerſtand der Luft betreffen. Obgleich es aus dem früher Geſagten wohl klar genug geworden

iſt, daß ein Stück Blei nur darum ſchneller herabfällt als eine Feder, weil der Widerſtand der Luft jene ſchwere Maſſe weniger zurückhält, ſo iſt es doch der Mühe werth, unter einer hohen Glocke den Verſuch zu zeigen, daß ein Stück Geld und eine Feder im luftleeren Raume gleich ſchnell den Boden erreichen. Der Recipient, deſſen man ſich zu dieſem Verſuche bedient, muß oben eine Faſſung mit einem luftdicht durchgehenden Stäbchen haben, und Geldſtück und Feder müſſen auf einer Metallplatte liegen, die man durch Drehung jenes Stäbchens plötzlich aus der horizontalen in die verticale Lage bringt. Sobald ſo den beiden Körpern ihre Unterlage entzogen iſt, ſtürzen ſie herab und erreichen zu gleicher Zeit den Boden.

Noch ein intereſſanter Verſuch über den Widerſtand der Luft läßt ſich unter der Glocke der Luftpumpe anſtellen. Man bringe an zwei verſchiedenen Axen Flügel, ſo wie Windmühlenflügel, an, die ſo geſtellt werden können, daß die Flügel an der einen Axe ihre breite Seite, die Flügel an der andern Axe ihre ſcharfe Seite dem Widerſtande der Luft darbieten. Setzt man ſie nun in gleich ſchnelle Bewegung, ſo kommen diejenigen, welche ihre breite Seite dem Widerſtande der Luft darbieten, viel früher als die andern zur Ruhe; im luftleeren Raume dagegen findet ein ſolcher Unterſchied nicht ſtatt. Um die gleich ſchnelle Bewegung hervorzubringen, kann man an jede der beiden Axen ein kleines gezahntes Rad anbringen, in deſſen Zähne die Zähne einer vertical herabgehenden Stange, die ſich zwiſchen beiden befindet und an beiden Seiten gleiche Zähne hat, eingreift. Wird dieſe durch ein Gewicht herabgedrückt, deſſen Einwirkung man unter der Glocke der Luftpumpe bis zu einem beſtimmten Augenblicke hemmen und dann zur freien Wirkung bringen kann, ſo erhält man genau gleiche Drehungsbewegungen.

Achtzehnte Vorleſung.

Verdichtung der Luft. — Meſſung der Verdichtung.

Nicht bloß die Verdünnung der Luft, von welcher ich bisher nur geredet habe, ſondern auch die Verdichtung der Luft vermittelſt der Luftpumpe bietet uns manches Belehrende dar, und jeder Hahnluftpumpe kann man ſich dazu ohne alle Veränderung bedienen; nur muß das Gefäß, worin verdichtet wird, feſt aufgeſchraubt ſeyn, und die Hähne müſſen in entgegengeſetzter Art als bei der Verdünnung gedreht werden, nämlich ſo, daß der doppelt durchbohrte Hahn C (IV. Fig. 31) beim Hinaufgehen des Kolbens gegen das Gefäß hin geöffnet, beim Hinabgehen gegen das Gefäß geſchloſſen und gegen die freie Luft geöffnet iſt, um neue Luft von außen in den Stiefel treten zu laſſen. Bei Ventilpumpen müſſen die Ventile eigens für den Zweck der Compreſſion eingerichtet und ſtark ſeyn; eine der gewöhnlichſten und einfachſten

Einrichtungen ſtellt Fig. 2 (Taf. V.) dar, wo das Gefäß F G, in welchem die Luft comprimirt wird, gleich unten an den Stiefel der Pumpe angeſchraubt iſt. A iſt eine Metallkugel, die als Ventil dient und von innen her durch die Feder B in die kugelförmige Höhlung C D hineingedrückt wird; der Stiefel hat da, wo der Kolben ſeine höchſte Stellung erreicht, eine Oeffnung E, und füllt ſich alſo von außen mit Luft, ſobald der Kolben bei E vorbeigegangen iſt; beim Niederſtoßen des Kolbens wird dann dieſe Luft in das Gefäß gedrängt, deſſen Ventil ſie öffnet, weil ſie aus der Oeffnung E nicht entweichen kann.

Die Verdichtung würde der übrigen Umſtände wegen beliebig weit getrieben werden können, wenn ihr nicht die Feſtigkeit der Gefäße, die bei der Verdichtung viel mehr in Anſpruch genommen wird als bei der Verdünnung, eine Grenze ſetzte. Erſtens nämlich widerſteht die Wölbung der Gefäße ungleich beſſer einem von außen wirkenden Drucke als einem von innen wirkenden, zweitens aber wächſt bei der Verdünnung der auszuhaltende Druck höchſtens bis zu dem vollen Drucke der Atmoſphäre, der 15 Pfund auf einen Quadratzoll beträgt; bei der Verdichtung dagegen kann er ohne Grenzen wachſen und beträgt ſchon bei 10facher Verdichtung 150 Pfund auf den Quadratzoll, während von außen nur 15 Pfund auf den Quadratzoll dagegen wirken. Nach Brunel's Angaben können Röhren aus ganz reinem Flintglaſe bei 18 Linien innerem Durchmeſſer und 10 Linien dicken Wänden das 135fache des Luftdruckes ertragen; wollte man mit gleicher Sicherheit in einem Cylinder von 6 Zoll Durchmeſſer Verſuche anſtellen, ſo müßten die Wände über 3 Zoll dick ſeyn, und da nach Faraday's Bemerkung das mit verdichteter Luft gefüllte Gefäß oft bei den leichteſten Stößen ſpringt, wenn es auch während völliger Ruhe Widerſtand genug leiſtete, ſo würde man kaum, ſelbſt bei ſo großer Dicke der Wände, es wagen, ein Glasgefäß von einiger Größe zu 100fachen und mehrfachen Verdichtungen zu gebrauchen. In kleineren Glasgefäßen und in metallenen Gefäßen hat man dennoch die Verdichtungen bis auf einen hohen Grad getrieben, indem zum Beiſpiel Perkins angiebt, daß er bei 2000 Atmoſphären Druck das Waſſer bis auf $^{11}/_{12}$ ſeiner natürlichen Dichtigkeit comprimirt habe. Bei ſo ſtarken Compreſſionen wird es wichtig, einen Kolben von nur kleiner Oberfläche bei der Compreſſionspumpe anzuwenden. Hätte nämlich der Kolben einen Querſchnitt von 1 Quadratzoll, ſo müßte man bei 2000maliger Verdichtung einem Drucke von 30000 Pfunden Widerſtand leiſten und dieſen bei weiterem Hineindrängen des Kolbens überwinden; hat hingegen, wie Perkins angiebt, der Kolben nur $^{5}/_{16}$ Zoll Durchmeſſer, alſo ungefähr $^{1}/_{13}$ Quadratzoll Fläche, ſo iſt der Druck auf den Kolben doch nur ungefähr 2300 Pfund, alſo wenn man einen die Kraft zwanzigfach verſtärkenden Hebel anbringt, ſo ſind 115 Pfund Kraft hinreichend, um die Compreſſion zu bewirken und zu erhalten. Beſonders zweckmäßig iſt es, nach Thilorier's Vorgang die comprimirte Luft nach und nach in engere Compreſſionscylinder treten zu laſſen, ſo daß, je mehr ſie ſchon comprimirt iſt, deſto mehr auch die Fläche des Kolbens abnimmt, auf den ſie drückt. Thilorier behauptet, bei ſeiner

Einrichtung den Druck, den die comprimirte Luft erfährt, auf das Zehntauſendfache der angewandten Kraft ſteigern zu können.

Zur Meſſung der Dichtigkeit der comprimirten Luft bedient man ſich je nach dem höhern oder niedern Grade der Compreſſion verſchiedener Mittel. Bei ſtarker Compreſſion kann man das mit comprimirter Luft gefüllte Gefäß abwägen und von dem gefundenen Gewichte das des leeren Gefäßes abziehen, wo ſich dann aus dem Gewichte der comprimirten Luft ihre Verdichtung findet, wenn man weiß, wie viel bei gewöhnlicher Dichtigkeit die das Gefäß füllende Luft wiegt. Von allgemeiner Anwendbarkeit iſt eine Einrichtung, die man des ähnlichen Zweckes wegen, in Uebereinſtimmung mit einem früher erwähnten Inſtrumente, Manometer genannt hat, und die in ſehr verſchiedenen Geſtalten gebraucht werden kann. Sey z. B. G H (IV. Fig. 35) das Gefäß, in welchem die Luft comprimirt wird, und daran eine bei A geſchloſſene Röhre A D E C angebracht, die in dem Raume A D Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit, zwiſchen D und E aber Queckſilber enthält, ſo wird mit ſteigender Compreſſion die Queckſilberfläche D ſich heben, indem ſie die eingeſchloſſene Luft D A zuſammendrückt. Nähme die Luft D A nur noch 1/20 ihres urſprünglichen Raumes ein, ſo könnte man daraus ſchließen, daß auch die Luft in G H 20 mal ſo dicht als gewöhnliche Luft ſeyn muß, und wenn alſo die Räume, welche die Luft bei A noch füllt, durch eine Eintheilung angegeben werden, ſo kennt man damit die Verdichtung, und braucht nur noch darauf Rückſicht zu nehmen, daß ſich zu dem Gegendrucke der Luft in D A noch das Gewicht einer gehobenen Queckſilberſäule geſellt, ſo daß alſo z. B. bei doppelter Dichtigkeit in G H die Oberfläche D nicht bis ganz in die Mitte zwiſchen ihrer urſprünglichen Lage und dem Ende der Röhre gelangen wird.[1] Will man dieſen Einfluß vermeiden, ſo kann man ſich in den meiſten Fällen begnügen, in einer dünnen, an einem Ende geſchloſſenen und dem innern Raume nach eingetheilten Röhre eine Quantität Luft durch einen Queckſilbertropfen abzuſperren und dieſes Manometer in horizontaler Lage in dem Raume mit comprimirter Luft anzubringen, wo dann der Queckſilbertropfen durch den Druck hineingeſchoben wird und das verminderte Volumen der abgeſperrten Luft die Verdichtung angiebt. Bei ſehr geringen Compreſſionen, wie ſie z. B. in Gebläſen ſtatt finden, wendet man eine zweiſchenklige, an beiden Seiten offene Röhre, eine Windwaage, an, die an der einen Seite mit der verdichteten, an der andern Seite mit der freien Luft in Verbindung ſteht und in ihrer untern Biegung Queckſilber enthält, wie c d M (V. Fig. 6). Der ſtärkere Druck der verdichteten Luft hebt in dem Schenkel, der ſich ins Freie öffnet, das Queckſilber, und fände z. B. eine Hebung von ½ Zoll ſtatt, ſo müßte der

[1] Das Manometer dient auch in vielen Fällen, z. B. bei der früher beſchriebenen Compreſſion des Waſſers, zur Meſſung ſtarker Druckkräfte. Wenn nämlich ein in dem Compreſſions-Cylinder mit eingeſchloſſenes Manometer eine 20fache Verdichtung anzeigte, ſo würde daraus folgen, daß der Druck 20mal ſo ſtark als der Luftdruck wirkte, oder daß es ein Druck von 20 Atmoſphären wäre, wie man kurz zu ſagen pflegt.

Druck der verdichteten Luft, mithin auch ihre Dichtigkeit um $\frac{1}{56}$ größer ſeyn als die der äußern Luft.

Anwendungen comprimirter Luft. – Windbüchſe.

Die Gewalt, womit verdichtete Luft ſich auszudehnen ſtrebt, wird zu mannigfachen Zwecken nützlich angewandt; ſie iſt es z. B., die bei allen unſern Schießgewehren der Kugel ihre Wurfgeſchwindigkeit ertheilt, ganz beſonders aber bei der Windbüchſe. Die Windbüchſe iſt meiſt ſo eingerichtet, daß ſich an das Rohr derſelben, wo es mit dem Kolben in Verbindung ſteht, ein Gefäß mit comprimirter Luft ganz wie F G (V. Fig. 2) anſchrauben läßt, in welchem die Luft durch das Ventil zurückgehalten wird. Durch das Abdrücken wird für einen Augenblick das Ventil aufgeſtoßen und läßt einen Theil der Luft in das Rohr hinter die Kugel gelangen, welche dadurch fortgeſtoßen wird. Man kann, freilich mit abnehmender Kraft, mehrmals ſchießen, bis der Vorrath von Luft in dem Gefäße erſchöpft iſt, und die Wirkung des Schuſſes läßt ſich auf folgende Weiſe ſchätzen. Es ſey ein Rohr von $\frac{3}{8}$ Zoll Weite, aus welchem eine Bleikugel von eben dieſem Durchmeſſer geſchoſſen werden ſoll, und die Luft ſey bis zur hundertfachen Dichtigkeit verdichtet. Eine Bleikugel von dieſer Größe wiegt ungefähr $\frac{2}{5}$ Loth, der Druck der Atmoſphäre auf ihren Querſchnitt, der $\frac{1}{9}$ Quadratzoll beträgt, iſt ungefähr 54 Loth, alſo 130mal ſo groß als das Gewicht der Kugel, und hundertfach verdichtete Luft übt folglich eine 13000mal ſo große bewegende Kraft aus, als das Gewicht der Kugel. Da nun die Schwerkraft in $\frac{1}{600}$ Secunde eine Geſchwindigkeit von $\frac{30}{600} = \frac{1}{20}$ Fuß hervorbringt, ſo würde jene 13000fache Kraft eine Geſchwindigkeit von 650 Fuß in 1 Secunde bewirken, wenn die Kraft auch nur $\frac{1}{600}$ Secunde lang wirkſam wäre; länger kann man aber ihre geſammte Wirkſamkeit nicht rechnen, da die Kraft ſogleich abnimmt, wenn die Kugel im Rohre fortgeht. Eine Geſchwindigkeit von 600 bis 700 Fuß in 1 Secunde könnte man alſo wohl von einer ſolchen Windbüchſe erwarten, wenn nicht der Widerſtand, den die Kugel in der Röhre leidet, ſchon einen erheblichen Theil der Kraft aufhöbe.

Kraft des Schießpulvers.

Auf ganz ähnliche Weiſe berechnet man die Wirkung des Schießpulvers, indem auch bei der Entzündung des Schießpulvers eine Quantität elaſtiſcher Flüſſigkeiten plötzlich frei wird, welche eine Wirkung, ganz den Wirkungen der verdichteten Luft gemäß, zeigt. Die Berechnung, wie groß die anfängliche Verdichtung der aus dem Schießpulver entwickelten Luftarten ſeyn muß, damit die Kugel diejenige Geſchwindigkeit erlange, welche die Erfahrung uns zeigt, iſt darum trüglich, weil der große Verluſt an Luft, indem ſie durch das Zündloch hervordringt, gar nicht in Rechnung gebracht werden kann. Wäre dieſes Hinderniß nicht, ſo würde man die Rechnung ſo fortführen können, daß man die bei größerer Ausdehnung allmälig abnehmende Kraft gehörig

in Rechnung brächte. Zur Beſtimmung der ſehr großen Gewalt des Schießpulvers hat Rumford eine anders angeordnete Reihe von Verſuchen angeſtellt. Um den Verluſt an Kraft, der beim Hervorbringen der Luft aus dem Zündloche ſtatt findet, zu vermeiden, ließ er einen kleinen Lauf von Eiſen ſo verfertigen, daß er nach der Ladung ganz dicht verſchloſſen und dann das Pulver durch ein von außen angebrachtes glühendes Eiſen entzündet werden konnte. Da die Pulvermenge, welche der kleine Flintenlauf faßte, ſo ſehr gering war (ſie betrug nur $^1/_{10}$ Cubikzoll oder etwa $^1/_8$ Loth), ſo glaubten die bei den erſten Verſuchen anweſenden Zuſchauer nicht, daß man viel von dieſem unbedeutenden Verſuche zu erwarten habe; aber ſchon der zweite Verſuch überzeugte ſie vom Gegentheil, indem der kleine Cylinder, deſſen Wände $2^1/_2$ Zoll dick waren und deſſen innere Bohrung nur $^1/_4$ Zoll Weite hatte, aus einander geſprengt wurde. Der Cylinder war in zwei Stücke zerriſſen und ſeine Bruchfläche betrug $6^1/_2$ Quadratzoll; da nun ein ſolider Cylinder von 1 Quadratzoll ähnlichen Eiſens erſt von 63000 Pfunden zerriſſen wird, ſo mußte die Gewalt des Pulvers 410000 Pfund betragen haben. Die fernern Verſuche wurden, um die genaue Druckkraft der entwickelten elaſtiſchen Flüſſigkeiten zu meſſen, ſo angeſtellt, daß der Lauf, in welchem ſich das Pulver befand, oben durch ein aufliegendes ſehr ſchweres Gewicht geſchloſſen und bei wiederholten Verſuchen dieſes Gewicht ſo vermindert wurde, daß die Entzündung des Pulvers es grade zu heben vermochte. Die Mündung des kleinen Laufes betrug bei dieſen Verſuchen $^1/_{20}$ Quadratzoll, und der Druck der Luft in ihrer natürlichen Dichtigkeit konnte alſo nur $^3/_4$ Pfund auf dieſe Fläche betragen; dennoch wurde mit einer Ladung von 18 Gran eine auf der Mündung ruhende Laſt von mehr als 8000 Pfunden gehoben, ſo daß die im Innern entwickelten elaſtiſchen Flüſſigkeiten ungefähr die 11000fache Kraft der Atmoſphäre ausübten, ja einige Verſuche gaben dieſe Kraft ſogar größer als den 50000fachen Druck der Atmoſphäre an. Hieraus erklären ſich denn auch hinreichend die ungeheuern Zerſtörungen, welche eine größere Pulvermaſſe beim Entzünden hervorbringt. Das Entzünden von ungefähr 60 Centner Pulver in einem Pulverthurme in Danzig hatte bis auf $^3/_4$ Stunden weit eine merkliche Wirkung, ein Erſchüttern der Gegenſtände gezeigt, auf weiter als eine halbe Stunde wurden die im Thurme befindlich geweſenen Kugeln, Kartätſchen und Steinſtücke herumgeworfen, und vom Thurme ſelbſt fand man ſogar die Fundamente aus der Erde gewühlt.

Man hat den Vorſchlag gemacht, comprimirte Luft anſtatt des Dampfes bei Maſchinen anzuwenden, was bei ſehr ſtarken Compreſſionen nicht ohne Vortheil ſeyn würde, da man zur Compreſſion der Luft jede beliebige Kraft, ſelbſt eine ganz unregelmäßig wirkende, wie die des Windes, anwenden und die Erzeugung der Betriebskraft von ihrer Verwendung ganz trennen könnte. Ein großes und feſtes, mit ſehr ſtark comprimirter Luft gefülltes Gefäß würde gewiſſermaßen ein Reſervoir von Kraft darſtellen, deſſen Inhalt man zu beliebiger Zeit und an beliebigem Orte verwenden könnte, auch würden ſich

Mittel angeben laſſen, um die Ungleichmäßigkeit in der Wirkung, die der nach und nach abnehmenden Verdichtung wegen bei der Verwendung der Luft ſtatt finden müßte, zu compenſiren. Das bis jetzt noch nicht überwundene Hinderniß dieſer Anwendung iſt aber, daß man die Gefäße nicht füglich groß und feſt genug herſtellen kann, um für eine längere Zeit und ohne allzu große Gefahr die Wirkung zu unterhalten.

Gebläſe.

Weit mäßigere Verdichtungen der Luft ſind es, deren wir uns bedienen, um den Luftſtrom bei Gebläſen hervorzubringen. Ihr Zweck iſt, ein Ausſtrömen von Luft zu bewirken, und es muß daher Luft an einem Orte geſchöpft und dann durch einige Verdichtung genöthiget werden, durch die dazu beſtimmte Röhre auszuſtrömen. Bei dem gewöhnlichen Blaſebalge geſchieht dieß dadurch, daß eine Seitenöffnung die Luft aufnimmt, ſich dann durch eine Klappe ſchließt und beim Zuſammendrücken der Luft den Ausgang nur durch die dem Feuer zugewandte Röhre geſtattet. Der doppelte Blaſebalg hat eine Mittelwand mit einem Ventile, und indem ſein einer Behälter die Luft, wie der einfache Blaſebalg, aufnimmt, dieſe aber beim Zuſammenpreſſen durch das Ventil der Mittelwand in den zweiten Behälter übergeht und ſich aus dieſem durch die Röhre in das anzublaſende Feuer ergießt, wirkt er beinahe gleichmäßig, auch während neue Luft eingeſchöpft wird, fort, indem das Ventil der Mittelwand die im zweiten Behälter verdichtete Luft außer Verbindung mit dem Raume ſetzt, in welchen Luft von natürlicher Dichtigkeit eindringt. Die Blaſebälge der Orgel führen die Luft in die Windlade, wo ſie comprimirt erhalten wird und, durch ein Ventil außer Verbindung mit dem Blaſebalge, während dieſer Luft ſchöpft, geſetzt, der Orgel einen beſtändigen Luftſtrom zuführt, dem das Orgelſpiel den Zugang bald zu der einen, bald zu der andern Pfeife öffnet.

Um große Feuer zu Schmelzöfen zu unterhalten, bedient man ſich der Cylindergebläſe, wo ein fortrückender Kolben die zwiſchen ihm und dem Boden enthaltene Luft comprimirt und durch eine im Boden befindliche Röhre dieſe Luft zunächſt gewöhnlich in ein großes Windgewölbe treibt, aus welchem ſie gleichmäßig ins Feuer ſtrömt; beim Hinaufgehen des Kolbens füllt ſich der Cylinder durch eine Seitenöffnung mit Luft, und dieſe ſowohl als die Röhre ſchließen ſich abwechſelnd durch Ventile.

Wenn man Gebläſe zu beſchränkteren Zwecken gebraucht, ſo kann man einen mit dem Rande in Waſſer getauchten Gasbehälter A B (IV. Fig. 37) anwenden, in welchen das eine Ende der Röhre C D mündet, welche am andern Ende den Luftſtrom hergeben ſoll. Indem dann der Gasbehälter durch ein mäßiges Gewicht hinabgedrückt wird, nöthiget dieſer Druck die Luft durch jene Röhre zu entweichen. Will man eine künſtlich bereitete Luftart anwenden, ſo muß dieſe durch eine andere Röhre dem Gefäße A B zugeführt werden, und wenn man von den freilich ſehr verſchiedenen Dimenſionen abſehen

will, ſo ſtimmt dem Weſen nach hiermit auch die Einrichtung der Gaſometer in den Gasbeleuchtungsanſtalten überein.

Heronsbrunnen

Auch bei hydrauliſchen Maſchinen findet comprimirte Luft häufige Anwendung, nicht allein ſo, wie ich es früher beſchrieb, um durch den Druck, den ſie auf das Waſſer im Windkeſſel ausübt, die Wirkung einer Kraft gleichmäßiger zu machen und ſogar in einzelnen Augenblicken ganz zu erſetzen, ſondern auch um die Wirkung einer Kraft fortzupflanzen und an andern Orten zweckmäßig zur Anwendung gelangen zu laſſen. Beſonders hat das Princip des ſogenannten Heronsbrunnens zur Hebung des Waſſers und zu andern nützlichen Zwecken gedient und bietet die Erklärung mancher in der Natur vorkommenden Erſcheinungen dar.

Der Heronsbrunnen (IV. Fig. 26) beſteht aus einem obern Gefäße CDFE und einem untern Gefäße GHKI. Beim Anfange des anzuſtellenden Experiments füllt man das obere Gefäß durch eine Oeffnung bei L ungefähr bis an AB mit Waſſer und verſchließt dann dieſe Oeffnung L. Die Sprungröhre MN, die unterdeß mit einem Hahne feſt verſchloſſen gehalten wird, iſt dann mit ihrer untern Mündung in das Waſſer eingetaucht, und die über AB ſtehende Luft hat nirgends einen Ausweg, außer durch die Röhre PO. Jetzt fängt man an, durch die Röhre QR, die von der Mündung Q ſich bis beinahe an den Boden des untern Gefäßes erſtreckt, Waſſer in dieſes untere Gefäß einfließen zu laſſen. Sobald nur eine mäßige Menge Waſſer hinabgefloſſen iſt und die Oeffnung R der Einflußröhre bedeckt hat, findet die in dieſem Gefäße enthaltene Luft keinen Ausgang mehr, und indem man immerfort Waſſer bei Q eingießt, hebt ſich die Waſſeroberfläche ST, drängt die Luft aus dem untern Gefäße zum Theil in das obere durch die Röhre OP hinauf und verdichtet ſie in beiden Gefäßen. Dieſe zweite Röhre geht von dem oberen Boden des Gefäßes GHKI bis nahe an den obern Boden des obern Gefäßes, damit unten die Luft immer ungehindert eindringen könne und dagegen aus dem obern Gefäße kein Waſſer durch ſie ausfließe. Gießt man bei Q nur nach und nach kleine Quantitäten Waſſer ein, ſo ſteigt zwar allmälig das Waſſer in der Röhre RQ immer etwas höher und höher über die Oberfläche ST im untern Gefäße, aber erſt wenn die Luft hinreichend comprimirt iſt, um eine Waſſerſäule von der ganzen Höhe UQ zu tragen, finden wir die Röhre ganz bis oben gefüllt, und können nun kein Waſſer mehr einfüllen, obgleich das untere Gefäß noch nicht ganz gefüllt iſt. Erſt nachdem alles ſo weit vorbereitet iſt, öffnet man den Hahn der Sprungröhre bei N, und das Waſſer dringt nun mit deſto größerer Gewalt hervor, je höher die Säule QU iſt, deren Gewicht die Luft zuſammenpreßt. Wären keine Hinderniſſe der Bewegung da, ſo müßte das Waſſer ebenſo hoch über AB hinaufſpritzen, als die Höhe QU angiebt; denn die Luft drückt auf AB mit derſelben Gewalt, wie es eine ſo hohe Waſſerſäule thun würde. Das Hervorſpringen

des Waſſers dauert ſo lange fort, als es der Vorrath von Waſſer in dem obern Gefäße erlaubt.

Natürliche Springbrunnen.

Es iſt ſehr wahrſcheinlich, daß die natürlichen Springbrunnen oft auf ähnliche Weiſe einem Zuſammenpreſſen der Luft oder der Dämpfe ihr Entſtehen verdanken. Die Erſcheinungen, die man am Carlsbader Sprudel beobachtet hat, legen am beſten vor Augen, wie es ſich dabei auch in Fällen, wo die Wirkungen viel größer ſind, verhalten mag. Das Carlsbader Waſſer entwickelt ſo viele kohlenſaure Luft und Dämpfe, daß dadurch, zumal weil die Oeffnungen ſich gern mit Kalkniederſchlag verſtopfen, von dieſen elaſtiſchen Flüſſigkeiten und vom nachdringenden Waſſer die Decke, unter welcher der natürliche Behälter des Waſſers ſich befindet, im Anfange des vorigen Jahrhunderts zerſprengt wurde. Man ſah bei dieſer Gelegenheit, indem man die bedeckenden Kalkſchichten noch weiter durchbrach, daß in dem unterirdiſchen großen Behälter das Waſſer, mit heftigem Brauſen unaufhörlich aufkochend, Dämpfe und zugleich auch Luft entwickelte. Indem man nun dieſe weite Oeffnung wieder durch ein feſtes Gewölbe ſchloß, zwang man das Waſſer, durch die ihm beſtimmte Oeffnung hervorzufließen. Eine derſelben iſt der Sprudel, aus welcher das Waſſer in Abſätzen hervordringt, weil die mit zu großer Heftigkeit entwickelte Luft ſich zugleich mit dem Waſſer einen Ausgang ſucht. Wäre hier der mit Dampf und Luft gefüllte Raum über dem großen Sprudelkeſſel ſo geſchloſſen, daß die Sprudel-Oeffnung ihren Ausfluß ziemlich tief unter der Oberfläche, etwa in A hätte (IV. Fig. 27), ſo könnte es, bei plötzlich vermehrtem Andrange der elaſtiſchen Flüſſigkeiten oder bei plötzlich vermehrtem Drucke auf die Oberfläche B C, zu einem höher hinauf getriebenen Sprungſtrahle kommen, der am Sprudel, zumal da die Luft mit entweicht, nicht vorkommen kann.

Das abwechſelnd ſo heftige Hervordringen des Waſſers aus den großen Springbrunnen Geyſer und Strock auf Island, deutet auf einen ähnlichen Urſprung. Nach den Beſchreibungen von Ohlſen und Hooker, womit auch andre Reiſende übereinſtimmen, findet man das Becken des Geyſer längere Zeit mit ruhigem Waſſer gefüllt; dann aber hört man ein wiederholtes unterirdiſches Getöſe, wie Kanonenſchüſſe, wobei das Waſſer zuerſt in einige aufwallende Bewegung geräth und dann mehr oder minder hoch, zuweilen bis zu 200 Fuß hoch, hinaufgetrieben wird und eine mit Dampfwolken umgebene Waſſerſäule darſtellt. Beim Hervorbrechen hat es die Kochhitze. Wenn nach mehreren Minuten oder einer Viertelſtunde der Ausbruch vorbei iſt, ſo ſinkt das Waſſer ſo tief in dem Behälter, woraus es hervordrang, daß Ohlſen das Bleiloth bis 80 Fuß ohne Widerſtand hinabſenken konnte, und es dauerte lange, ehe der Keſſel ſich wieder füllte; obgleich ſich auch unterdeſſen zuweilen unterirdiſches Getöſe hören ließ, ſo war es doch dann erſt am ſtärkſten, wenn der Keſſel wieder höher angefüllt war. Welchen Eindruck dieſes Schauſpiel eines

zuweilen gegen 50 Fuß dicken und 100 Fuß, ja 200 Fuß hinauf geſchleuderten Waſſerſtrahles, deſſen Erſcheinen mit unterirdiſchem Donner begleitet iſt, auf den Beobachter, der die Erde unter ſich beben fühlt, machen muß, läßt ſich denken. Die eigentlichen Urſachen der Erſcheinung kennen wir zwar nicht, aber daß hier, wo in der Tiefe ein unauslöſchliches Feuer beſtändig wirkſam iſt, dieſes die Erſcheinungen hervorbringt, läßt ſich wohl nicht bezweifeln. Stellen wir uns vor, die Waſſerquelle könne den offenen Keſſel A B allmälig füllen (IV. Fig. 28) und das Waſſer erhebe ſich zugleich in den Höhlen B C, ſo kann dieſes Anſchwellen ſehr ruhig fortgehen, ſo lange die über dem unterirdiſchen Feuer D befindliche Luft durch ihren Gegendruck das Ueberfließen des Waſſers bei C hindert, und da der Druck der ſehr erhitzten, immer mit Dämpfen erfüllten Luft über dem Feuer D ſehr viel größer, als der Druck der äußern Luft iſt, ſo kann der höchſte Punkt der das Feuer und Waſſer trennenden Höhe C viel niedriger, als A, liegen. Fängt nun aber bei fortwährendem Zubringen des Waſſers dieſes an, ſich bei C hinüber in das Feuer zu ſtürzen, ſo entſteht auf einmal eine große Menge Dampf, die den Druck auf die Oberfläche des Waſſers bei C E in ſtarkem Maaße vermehrt, und es läßt ſich wenigſtens als möglich denken, daß dieſe Dampfentwicklung, ſelbſt während des Hervorbrechens aus der Oeffnung A, noch fortdauert und daß die Elaſticität des Dampfes groß genug iſt, um ſelbſt bis zu den Erſtaunen erregenden Höhen, die man dort beobachtet, das Waſſer hinaufzutreiben.

Luftſchifffahrt.

Als den letzten und zugleich einen der merkwürdigſten unter den Gegenſtänden der Aëroſtatik habe ich noch das Schwimmen in der Luft zu erörtern, und erinnere Sie dabei an das früher gefundene Reſultat, daß jeder Körper durch den Luftdruck ſo viel an Gewicht verliert, als die aus der Stelle gedrängte Luft wiegt. Kann man alſo einen Körper herſtellen, der leichter iſt als ein gleich großes Volumen Luft, ſo überwiegt der aufwärts gerichtete Gegendruck der Luft, und der Körper muß in der Luft aufſteigen, bis er in eine Region gelangt, wo die dünnere Luft, die er verdrängt, genau ebenſo viel wiegt als er ſelbſt. Schon in älterer Zeit hat man dieſen Gedanken gefaßt; aber ſelbſt nachdem man die Mittel, einen luftleeren Raum hervorzubringen, kennen gelernt hatte, ſchien es doch immer noch unmöglich, durch die Auspumpung der Luft einen Körper ſo leicht zu machen, daß er ſich in der Atmoſphäre erheben und ſogar noch ein Schiffchen mit Menſchen mit hinaufziehen könne. Obgleich nämlich die Luftmaſſe, die dem Gewichte eines Menſchen gleich iſt, kein ſo gar großes Volumen hat, indem ſie für einen 140 Pfund ſchweren Mann nur etwa 1700 preußiſche Cubikfuß betragen oder eine Kugel von 15 Fuß Durchmeſſer füllen würde, ſo fehlt es uns doch gänzlich an einer Art von Körpern, die bei ſehr geringem Gewichte dem Drucke der äußern Luft Widerſtand leiſten könnten; ein biegſamer Körper aber würde zu einem Gefäße, das man luftleer machen will, nicht taugen, weil er, wie man an

einer Blaſe ſieht, ſogleich zuſammenfällt, wenn man die innere Luft fortſchafft. Erſt Montgolfier faßte im Jahre 1783 den Gedanken auf, daß ja Rauch in der Luft aufſteige, oder wie ich es lieber, den Anſichten der Erfinder vorgreifend, ausdrücken will, daß warme Luft bei ſehr vermindertem ſpecifiſchem Gewichte ebenſo viel Elaſticität, als kältere, beträchtlich ſchwerere Luft beſitze, und daß daher warme Luft, in leichte Häute oder andre Hüllen eingeſchloſſen, dem Zuſammendrücken durch die äußere Luft widerſtehen und doch zum Aufſteigen wohl leicht genug ſeyn könne. So entſtanden die erſten Aëroſtaten oder Luftbälle, indem die Brüder Montgolfier einen mit erhitzter Luft gefüllten Ballon von 35 Fuß Durchmeſſer nicht bloß zum Steigen brachten, ſondern auch ein erhebliches Gewicht mit demſelben in die Luft hinaufheben ließen.

Aber dieſer unvollkommene Anfang der Aëronautik gab bald Veranlaſſung zu einer beſſern Einrichtung. Die Phyſiker hatten kürzlich erſt die künſtlichen Luftarten und die Mittel, ſie bequem aufzufangen und näher zu unterſuchen, kennen gelernt, und unter dieſen Luftarten zeichnete das Waſſerſtoffgas (Hydrogengas) ſich als eine ſehr leichte Luftart, die bei gleicher Elaſticität wie die natürliche Luft ein ſehr geringes Gewicht hat, aus. Charles in Paris machte daher den Verſuch, dieſe Luftart in Ballons von dünner Materie einzuſchließen, und brachte ſo diejenigen Luftballons zu Stande, die ſich nachher als die brauchbarſten bewährt haben. Dieſe Luftart iſt, wie wir ſehen, nur etwa 7/100 oder 1/14 mal ſo ſchwer als atmoſphäriſche Luft, und ſelbſt wenn man ſie nicht vollkommen frei von atmoſphäriſcher Luft erhalten kann, doch immer nur etwa 1/7 ſo ſchwer als dieſe; man erhält daher, weil ſie in dünne Umhüllungen eingeſchloſſen werden kann, ſelbſt bei einer ziemlich mäßigen Größe, Steigkraft genug, um ſehr bedeutende Laſten zu heben. In der erſten Zeit der Luftſchiffkunſt, nachdem man die Möglichkeit, ohne Gefahr ſich in die Luft zu erheben, kennen gelernt hatte, ſuchte man durch ſehr große Luftballons den Zweck, recht große Laſten zu heben, zu erreichen. So verfertigten Pilatre de Rozier und Montgolfier eine Maſchine von 126 Fuß hoch und 102 Fuß im Durchmeſſer, mit welcher 6 Perſonen ſich in die Luft erhoben.

Um nun unſere wiſſenſchaftliche Betrachtung des Gegenſtandes zu verfolgen, wollen wir jetzt fragen, welche Laſt kann denn ein Ballon von gegebener Größe heben, welche Höhen kann er erreichen und was für Mittel giebt es, um ſein Steigen und Sinken zu regieren? Die erſte Frage will ich zuerſt kurz in Beziehung auf die bloß durch Erwärmung der Luft aufſteigenden Aëroſtaten (Montgolfieren) beantworten. Wenn hier eine Kugel von 50 Fuß Durchmeſſer, alſo etwa 66000 Cubikfuß Inhalt eine Steigkraft von 500 Pfund erhalten ſollte, ſo mußte die im Innern enthaltene Luft 500 Pfund weniger wiegen, als die aus der Stelle getriebene atmoſphäriſche Luft; die letztere aber wiegt, 12 Cubikfuß auf 1 Pfund gerechnet, 5500 Pfund, jene muß daher nur 5000 Pfund wiegen oder 10/11 der Dichtigkeit der natürlichen Luft haben, und dazu müßte ſie 21 Reaum. Grade wärmer ſeyn, als die umgebende Luft.

Bei dieſer Größe wäre es alſo nicht ſchwierig, eine noch viel erheblichere Steigekraft zu erhalten, und obgleich in größern Höhen die geringere Dichtigkeit der äußern Luft die Steigkraft vermindert, ſo liegt doch nicht darin, ſondern in der Gefahr, die ein Feuer zum Erhitzen der Luft allemal mit ſich bringt, der Hauptgrund, warum man in ſpätern Zeiten nicht gern mehr Gebrauch von dieſer Art, den Luftball zum Steigen zu bringen, gemacht hat.

Bei der zweiten Art von Luftballons (den Charlieren) macht die Entwicklung einer ſo großen Menge brennbarer Luft zwar eine ſehr bedeutende und viele Zeit koſtende Arbeit, aber man hat dann auch eine ſehr anſehnliche Steigkraft ohne andre Gefahren, als diejenigen ſind, denen man bei jeder Luftſchifffahrt allemal ausgeſetzt iſt. Man bedient ſich zu dieſen Ballons ſehr leichter Seidenzeuge, die durch Firniß gegen den Verluſt der Luft geſichert ſind. Ein Ballon, deſſen großer Durchmeſſer 30 Fuß, der kleinere 25 Fuß wäre, wie es bei Garnerin's Ballon der Fall war, hätte 11000 Cubikfuß Inhalt und triebe alſo in der untern Luft ungefähr 920 Pfund Luft aus der Stelle; die brennbare Luft, die ihn füllt, würde etwa 130 Pfund wiegen, die Umhüllung des Ballons 70 Pfund, die Seile mit dem Schiffchen 200 Pfund; alſo hat der 920 Pfund betragende, hinaufwärts gerichtete Luftdruck ungefähr 400 Pfund zu tragen, und es kann noch eine bedeutende Belaſtung ſtatt finden. Betrüge dieſe, etwa indem 2 Menſchen das Schiffchen beſtiegen, 300 Pfund, ſo behielte der Ballon noch 220 Pfund Steigkraft und könnte mit einer Geſchwindigkeit von 7 oder 8 Fuß in der Secunde zu ſteigen anfangen. Nach Beobachtungen, die man in andern Fällen über das Steigen der Luftbälle angeſtellt hat, betrug die Geſchwindigkeit 10 Fuß in der Secunde, ſo daß der Ballon in 7 Minuten 4000 Fuß Höhe erreichte.

Eine dritte Art der Füllung hat in neuerer Zeit der bekannte engliſche Luftfahrer Green in Anwendung gebracht, indem er Steinkohlengas anwendet, welches erſtens wohlfeiler und viel ſchneller erzeugt wird, und daher die Füllung eines Ballons in Zeit von etwa einer Stunde möglich macht, zweitens aber nicht ſo leicht durch die Poren des Ballons entweicht als reines Waſſerſtoffgas. Der einzige Mangel iſt, daß es ſchwerer iſt als Waſſerſtoffgas und darum bei einer beſtimmten zu bewirkenden Steigkraft einen größern Ballon erfordert.

Indem der Ballon höher ſteigt, erreicht er eine dünnere, weniger drückende Luft; war er alſo ſchon unten vollkommen gefüllt, ſo wird die Elaſticität der innern Luft ihn in größerer Höhe ſtark ausſpannen und zu zerſprengen drohen; der Luftſchiffer muß ihn daher entweder nicht ganz füllen, oder mit Hülfe eines am Ballon angebrachten Ventils, das er mit einem Seile regiert, etwas Luft ausſtrömen laſſen; auf dieſe Weiſe erhält ſich das Verhältniß des Gewichts der innern Luft und der aus der Stelle getriebenen äußern ziemlich ungeändert, aber da jene ſowohl als dieſe in größern Höhen dünner iſt, ſo nimmt die Steigkraft des Ballons immer mehr ab. Hat zum Beiſpiel der Ballon die Höhe 8000 Fuß erreicht, wo die Dichtigkeit der Luft noch etwa $^3/_4$ der unten ſtatt findenden Dichtigkeit iſt, ſo treibt der Ballon, für den wir vorhin die

Rechnung führten, wenn er anfangs ganz gefüllt war, noch 690 Pfund Luft aus der Stelle, die in ihm enthaltene Luft wiegt 100 Pfund, die Umhüllung, das Schiff mit ſeiner Belaſtung 570 Pfund, und der Ballon kann alſo nicht viel mehr ſteigen. Sollte er höher ſteigen, ſo müßte die Belaſtung geringer ſeyn, und wir wollen daher zu einer neuen Fahrt nur eine Perſon mit nehmen, damit die um 150 Pfund geringere Belaſtung ſelbſt in 8000 Fuß Höhe noch eine Steigkraft von 170 Pfund übrig laſſe. So erleichtert würde er faſt 18000 Fuß Höhe erreichen; denn da in dieſer Höhe das Barometer auf 14 Zoll ſteht, ſo iſt die Dichtigkeit der Luft nur halb ſo groß als unten; die aus der Stelle getriebene Luft wiegt 460 Pfund, die im Ballon 65 Pfund, die ganze Belaſtung 420 Pfund, alſo iſt das Gewicht ſchon etwas zu groß und eine ſo große Höhe würde nicht völlig erreicht.[1]

Die Luftſchiffer bedienen ſich, um bald mehr zu ſteigen, bald ſich zu ſenken, meiſtens des doppelten Hülfsmittels, bald durch Auswerfen einiges mitgenommenen Ballaſtes ſich zu erleichtern, bald durch Oeffnen des Ventiles einige Luft auszulaſſen; aber beide Mittel dürfen nur vorſichtig angewandt werden, um nicht zuletzt Verlegenheit herbeizuführen. Hat man nämlich Luft ausgelaſſen, ſo hat man nun auch die Steigkraft des Ballons ſelbſt für die untern Gegenden geſchwächt, und wenn der Ballon einmal im Sinken iſt, ſo ſinkt er nun unaufhaltſam, weil unter dem ſtärkern Drucke der untern Luft der Ballon ſich nicht mehr ganz aufgeblaſen, ſondern nur zum Theil gefüllt zeigen wird, eben darum aber die Steigkraft ſo gering bleibt oder ſo gänzlich aufgehoben iſt, wie in den höhern Gegenden. Bei den Montgolfieren wurde das willkührliche Steigen und Sinken durch Regulirung der Lampen oder anderen Wärmequellen hervorgebracht, deren man ſich zur Erwärmung der Luft bediente. Bei ſtärkerer Erwärmung ſtieg natürlich der Ballon, und bei ſehr großer Vorſicht würde das Mittel der Erwärmung ſich ſogar auch auf die Charlieren anwenden laſſen, wiewohl die Gaſe, deren man ſich in ihnen bedienen kann, brennbar ſind. Aber alle dieſe Mittel beſchränken ſich nur auf die verticale Bewegung, die man, wie Sie ſehen, einigermaßen in ſeiner Gewalt hat. Die Beantwortung der Frage: ob und auf welche Weiſe eine willkührliche Bewegung in horizontaler Richtung möglich ſey, muß ich mir erlauben, für die folgende Vorleſung aufzuſparen, wo ſie mit Hülfe der Lehren der Aërodynamik ziemlich befriedigend gegeben werden kann.

Neunzehnte Vorleſung.

Ausſtrömungsgeſchwindigkeit der Luft.

Die Geſchwindigkeit, womit Luft bei gegebenem Drucke aus einem Gefäße ausſtrömt, würde auf ganz ähnliche Art wie bei den tropfbaren Flüſſigkeiten

[1] Die größte nachgewieſene Höhe, nämlich von 3600 Toiſen oder 22400 preuß. Fußen, erreichte Gay-Lüſſac am 16. Sept. 1804 bei einer Luftreiſe, die er zu wiſſenſchaftlichen Zwecken anſtellte.

beſtimmt werden können, wenn man ſich mit dem Falle begnügen wollte, wo Luft in den leeren Raum ausſtrömt und ihr alſo wie dem ausſtrömenden Waſſer kein irgend in Betracht kommendes Hinderniß entgegenſteht. Strömt nämlich Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit in den leeren Raum aus, ſo wird ſie durch einen Druck gleich dem einer 32 Fuß hohen Waſſerſäule dazu veranlaßt, und ſollte derſelbe Druck durch eine gleichmäßig dichte Luftſäule von der gewöhnlichen Dichtigkeit bewirkt werden, ſo müßte dieſe 24600 Fuß hoch ſeyn, zu welcher Druckhöhe eine Ausflußgeſchwindigkeit von 1215 Fuß gehört, weil ein fallender Körper in der Tiefe von 24600 Fuß eine Geſchwindigkeit von 1215 Fuß erlangen würde. Durch die Reibung wird zwar gleich anfangs dieſe große Geſchwindigkeit der in den leeren Raum ſtrömenden Luft ſehr vermindert; beſonders aber bringt die allmälige Füllung des Raumes, in welchen die Luft ſtrömt, Verzögerungen hervor, deren Einfluß man findet, wenn man nur den Unterſchied des Druckes, der in dem Gefäße und außerhalb ſtatt findet, als wirkſam in Rechnung nimmt. Wäre z. B. im Gefäße Luft von $^{9}/_{8}$ der gewöhnlichen Dichtigkeit, welche ins Freie ausſtrömte, ſo wäre der Unterſchied des innen und außen ſtatt findenden Druckes $^{1}/_{8}$ des gewöhnlichen Luftdruckes, alſo gleich dem Drucke einer Luftſäule von 3075 Fuß Höhe, und durch die etwas verdichtete Luft im Gefäße würde derſelbe Druck ſchon bei einer Säule von 2733 Fuß Höhe hervorgebracht werden, welcher Druckhöhe eine Ausſtrömungsgeſchwindigkeit von ungefähr 400 Fuß zugehört. Schmidt leitet aus ſeinen Verſuchen ab, daß durch die Reibung dieſe Geſchwindigkeiten um etwa $^{1}/_{3}$ vermindert werden. Bei den Blaſebälgen der Orgeln iſt die Verdichtung ſehr gering, ſie beträgt nur etwa $^{81}/_{80}$ der natürlichen Dichtigkeit, dennoch findet ſich eine Ausſtrömungsgeſchwindigkeit von ungefähr 130 Fuß, in ziemlich naher Uebereinſtimmung mit wirklich angeſtellten Verſuchen, und man kann daraus unter anderm ſchließen, daß ſchon ſehr geringe Druckunterſchiede ausreichend ſind, um die verhältnißmäßig geringen Geſchwindigkeiten hervorzubringen, die wir bei den Winden beobachten.

Wenn man die bei bekannter Geſchwindigkeit des Ausſtrömens wirklich hervorgegangene Luftmenge mit der aus der Größe der Oeffnung durch Rechnung hergeleiteten vergleicht, ſo findet man, daß erſtere kleiner iſt und zwar nach Koch's Verſuchen 4 bis 5 Zehntel weniger beträgt als letztere, wenn die Oeffnung ſich in einer dünnen Wand befindet und nicht mit einem Anſatz verſehen iſt. Dieſe Erfahrung lehrt, daß auch bei luftförmigen Körpern eine freilich nicht direct zu beobachtende Erſcheinung ſtatt finden muß, die der Contraction gewöhnlicher Flüſſigkeitsſtrahlen ähnlich iſt, und die ſich noch in folgendem Verſuche auf eine auffallende Art äußert. Läßt man die Luft durch eine freiſtehende Röhre ausfließen und bringt dieſer gegenüber eine bewegliche dünne Platte an, ſo wird dieſe Platte fortgeſtoßen, wie wir es von der Gewalt des Luftſtromes erwarten; iſt aber die Oeffnung, wie A (V. Fig. 3), in einer breitern Wand des Gefäßes und liegt auf ihr eine Platte FG von beträchtlich größerem Durchmeſſer, leicht genug, um von dem Luftſtrome fortgeſtoßen zu

werden, ſo hebt dieſe ſich zwar, um die Luft auszulaſſen, ſie entfernt ſich aber nicht von der Oeffnung, ſondern ſcheint durch den zwiſchen D E und F G nach allen Seiten, wie durch eine enge Spalte, hervordringenden Luftſtrom angezogen zu werden. Legt man zwiſchen D E und F G hie und da kleine feſte Körper, ſo daß ſogleich von Anfang an die Platte ſich in einer beſtimmten Entfernung von der Oeffnung befindet, ſo dauert die ſcheinbare Anziehung fort; ſind aber dieſe kleinen zwiſchengelegten Säulchen ſo hoch, daß der Abſtand ½ Zoll oder mehr beträgt, ſo wird die Platte F G fortgetrieben, ſo wie es dem Stoße des Luftſtroms angemeſſen zu ſeyn ſcheint.

Dieſer ſeltſam ſcheinende Verſuch, den man leicht anſtellen kann, wenn man durch eine Röhre C B A (V. Fig. 3) bläſt, deren Ende in einem Brete DE ſo befeſtigt iſt, daß die Oeffnung A nicht über daſſelbe hervorragt, giebt, wenn man ein ſehr biegſames Blättchen auf D E auflegt, noch zu der Erſcheinung Anlaß, daß dieſes Papierblättchen in eine zitternde Bewegung geräth, die von dem Ausſtrömen der Luft und dem Andrängen gegen die Oeffnung, je nachdem dieſe auf den einen oder andern Theil der Platte wirkſam ſind, abhängt. Die ganze Erſcheinung wird etwas verſtändlicher, wenn man ſie mit der Contraction des Strahls beim Ausfluß tropfbarer Flüſſigkeiten vergleicht. Sie erinnern ſich, daß bei dem Ausfluſſe des Waſſers aus Oeffnungen in einer dünnen Wand die Waſſermenge wegen der Zuſammenziehung des Waſſerſtrahles weniger betrug, als ſie nach Maaßgabe der Geſchwindigkeit betragen ſollte, daß aber dieſe Waſſermenge ſehr geſteigert werden konnte, wenn man ein ſich nach außen erweiterndes Röhrchen, wie A B, an die Oeffnung anſetzte (V. Fig. 4). Hier nämlich dringt aus der weiten Oeffnung B C im erſten Augenblicke ſo viel Waſſer hervor, als dem Drucke des Waſſers auf dieſe größere Fläche gemäß iſt; das Waſſer in der Oeffnung A D hat durch jenen Druck nur einen Antrieb zu ebenſo großer Geſchwindigkeit und würde daher den Waſſerabgang nicht erſetzen können; aber wenn das nicht geſchähe, ſo entſtände ja zwiſchen A D und B C ein Raum leer von Luft und Waſſer, und in dieſen würde das Waſſer bei A D ſich mit aller derjenigen Gewalt ſtürzen, welche dem vereinigten Drucke der Luft auf die Oberfläche des Waſſers GH und dem Drucke des Waſſers im Gefäße gemäß iſt. Wegen dieſes ſich in demſelben Momente äußernden Druckes entſteht daher der luftleere Raum gar nicht, ſondern der Waſſerzufluß durch A D verſtärkt ſich ſo, daß die ausfließende Waſſermenge ſo erheblich wird, wie es die Erfahrung zeigt. Daß dieſes hier die wirkliche Urſache der Erſcheinung iſt, läßt ſich dadurch zeigen, daß ein nahe bei D angebrachtes, unten in ein Gefäß mit Waſſer endigendes Röhrchen E F ſich höher, als das umgebende Waſſer es fordert, mit Waſſer füllt, zum Zeichen, daß in E ein Anziehen nach innen, ein Aufnehmen einiger Luft aus der Röhre E F und ſo ein Anſaugen des Waſſers ſtatt findet.

Auf ähnliche Weiſe, wie in dieſem zuletzt erzählten Verſuche die weitere Mündung den Ausfluß einer größern Waſſermaſſe geſtattet, als durch die kleinere Oeffnung ausfließen würde, und wie dadurch ein Anſaugen, ein

Beſtreben der Luft, von der Seite einzudringen, entſteht, ſo bringt auch der auf die ganze ringförmige Oeffnung A B C D, wo nämlich die Luft zwiſchen dem Boden F G und der aufliegenden Platte hervorbringen kann (V. Fig. 5), wirkende Druck der verdichteten Luft einen größern Luftausfluß hervor, als die kleinere Oeffnung erſetzen kann, und daher folgt jedem Hervordrängen der Luft ein Heranziehen der beweglichen Platte, die entweder immer abwechſelnd dem Luftzuge wieder Raum läßt und dann wieder herangezogen wird, oder durch ein Hinderniß, durch zwiſchenliegende Säulchen entfernt gehalten, immer ebenſo herangezogen wird, wie das Waſſer in der Röhre E F (V. Fig. 4).

Daß dieſe Vorſtellung die richtige ſey, zeigen vorzüglich Ewart's Verſuche, unter welchen folgender am belehrendſten iſt. A a iſt die Röhre (V. Fig. 6), durch welche die Luft herandringt, um durch die Oeffnung in der Platte B C auszuſtrömen; über dieſer Oeffnung aber iſt, durch kleine Stützen in einer geringen Entfernung erhalten, die Platte D E, zwiſchen welcher und der Bodenplatte die Luft, nach allen Seiten hin ſich ausbreitend, ihren Ausweg ſuchen muß. Damit man nun den Druck der Luft ſowohl in der Röhre A, als in der Mitte der obern Oeffnung kennen lerne, ſind bei F und M gebogene Röhren, zum Theil mit Queckſilber gefüllt, angebracht, und damit man die Stärke des Anſaugens zwiſchen beiden Ebnen gegen den Rand der Platte hin kennen lerne, ſind Röhren H, I, K angebracht, die unten in Waſſer eingetaucht ſind. Während nun die verdichtete Luft gegen die Oeffnung herandrängte, hob ſich bei Ewart's Verſuchen das Queckſilber in e um $1^1/_4$ Zoll höher, als in b, und in c um $1^1/_4$ Zoll höher, als in d; alſo war innerhalb der Röhre der Druck der Luft etwa um $^1/_{24}$ ſtärker als außen; in der Röhre H ſtieg das Waſſer 9 Zoll, in I 2 Zoll, in K $^1/_2$ Zoll, Queckſilber wäre alſo in H $^2/_3$ Zoll, in I $^1/_7$ Zoll, in K nur $^1/_{28}$ Zoll hoch geſtiegen, aber deutlich zeigte ſich doch der die obere Platte bei H ſtark, bei I ſchwächer gegen die Oeffnung anſaugende Druck.

Man hat an dieſe Beobachtung die nützliche Bemerkung geknüpft, daß man das Sicherheitsventil bei Dampfmaſchinen nicht als eine breite, die Oeffnung verdeckende Klappe anbringen müſſe, weil auch beim Hervordringen des Dampfes eben dieſes Anſaugen, eben dadurch aber eine Hinderung für das freie Ausſtrömen des Dampfes, wenn es nöthig iſt dieſen auszulaſſen, eintritt.

Der hervordringende Luftſtrom ſtimmt auch darin mit dem Strahle einer tropfbaren Flüſſigkeit überein, daß er beim Antreffen an eine feſte Wand nicht merklich abprallt, ſondern ſich ſogleich längs der Fläche ausbreitet. Man kann dieß am beſten nachweiſen, indem man mit einem Rohre gegen eine Fläche bläſt, und durch eine Lichtflamme die Richtung des Luftſtromes längs der Fläche hin unterſucht; dabei zeigt ſich ſogar die auffallende Erſcheinung, daß die Luft ſich von allen Seiten nach dem getroffenen Punkte der Fläche hin bewegt, und daß nur ganz in der unmittelbaren Nähe der Fläche die Luft ſich von dem getroffenen Punkte aus nach allen Seiten ausbreitet.

Stoß der Luft. — Meſſung der Geſchwindigkeit.

Es läßt ſich erwarten, daß auch luftförmige Flüſſigkeiten bei ſchneller Bewegung einen Stoß auf die getroffenen feſten Körper ausüben, und man kann die Stärke derſelben am beſten ganz ſo wie bei unelaſtiſchen Flüſſigkeiten ſchätzen, da der verhältnißmäßig geringe Einfluß, den die Elaſticität der Flüſſigkeiten hierbei ausübt, ſehr ſchwer zu beſtimmen iſt. Hat z. B. ein heftiger Sturm eine Geſchwindigkeit von 120 Fuß, ſo wiſſen wir, daß zu dieſer Geſchwindigkeit eine Druck- oder Fall-Höhe von 240 Fuß gehört; nehmen wir alſo die geſtoßene Fläche 1 Quadratfuß groß an, ſo iſt die Kraft des Stoßes wenigſtens dem Gewichte einer Luftſäule von 240 Cubikfuß, das iſt 20 Pfunden gleich, und böte man dem Sturme eine Kreisfläche von 20 Fuß Durchmeſſer oder ungefähr 300 Quadratfuß Inhalt dar, ſo erführe dieſe einen Druck von wenigſtens 6000 Pfunden. Hiernach läßt ſich die auf einen dichtbelaubten Baum von großer Krone ausgeübte Gewalt des Sturmes ſchätzen, und wenn auch nach den frühern Erörterungen über relative Feſtigkeit die eben angegebene Wirkung nicht ausreichen würde, um einen feſten Baumſtamm von 1 Fuß Durchmeſſer abzubrechen, ſo würde ſie doch vielleicht genügen, ihn umzuwerfen und mit den Wurzeln herauszuheben, wie es ja auch bei feſten Stämmen gewöhnlich geſchieht. Welche faſt unglaubliche Gewalt der Sturm bisweilen erlangen kann, zeigen die Beſchreibungen der früher ſchon erwähnten Orkane, die bisweilen einzelne Striche der heißen Zone verheeren. So wurde durch einen ſolchen Orkan am 2. Auguſt 1837 das Fort auf St. Thomas förmlich demolirt, Kanonen von ſchwerem Kaliber (Vierundzwanzigpfünder) wurden fortgeführt und ein wohlgebautes, großes Haus wurde von ſeinen Fundamenten losgeriſſen und aufrecht bis mitten in die Straße gerückt; in St. Barthelemy wurden durch denſelben Orkan 250 Häuſer zerſtört.

Der Stoß des Windes geſtattet auch einige nützliche Anwendungen, die nach denſelben Grundſätzen beurtheilt werden können. Die Wirkung des Windes auf die Segel der Schiffe, die nach der Größe der Segel und der Geſchwindigkeit des Windes geſchätzt werden kann, bringt im erſten Augenblicke nur eine ſehr langſame Bewegung hervor, beſchleunigt dieſelbe aber durch die Fortdauer der Wirkung immer mehr und mehr. Durch die Beſchleunigung nimmt nun aber auch der Widerſtand zu, den das Schiff im Waſſer findet, und von dem Augenblicke an, wo dieſer Widerſtand grade der Wirkung des Windes gleich geworden iſt, findet eine gleichförmige Bewegung ſtatt. Hieraus erklärt ſich, daß ſchon der ſchwächſte Wind eine ſehr langſame gleichförmige Bewegung hervorbringt. Bei der Wirkung des Windes auf die Windmühlenflügel iſt zu berückſichtigen, daß hier auf die ſchief entgegengeſtellte Fläche nur ein Theil der Kraft ſo wirkt, daß er eine Drehung hervorbringt, und daß dieſe Wirkung an verſchiedenen Stellen des Flügels etwas verſchieden ausfallen muß. Wollte man nämlich den Flügel ganz eben machen, ſo würde der Wind für ſich allen Theilen deſſelben eine gleiche Geſchwindigkeit ertheilen, die aber nicht eintreten

kann, weil doch nothwendig die Theile an der Axe ſich langſamer bewegen müſſen als die am Ende des Flügels, die in gleicher Zeit einen viel größern Kreis beſchreiben. Durch dieſe ungleiche Geſchwindigkeit würde bewirkt werden, daß der Wind nicht überall gleich vortheilhaft wirkte, wenn man nicht den Flügel windſchief machte, d. h. ihn an der Axe weniger gegen die Ebne geneigt conſtruirte, in welcher die Umdrehung erfolgt.

Die Wirkungen, die der Wind durch den Stoß hervorbringt, können auch auf mannigfaltige Art dienen, um ſeine Geſchwindigkeit zu meſſen. Unmittelbar geſchieht dieß durch den Woltmann'ſchen Anemometer, der dem Weſen der Sache nach ſo eingerichtet iſt wie der Strommeſſer; da aber hierdurch nur die mittlere Geſchwindigkeit beobachtet werden kann, die der Wind während der Dauer der Beobachtung hatte, ſo hat Schmidt es vorgezogen, die Geſchwindigkeit des Windes aus dem Drucke herzuleiten, den er auf eine pendelartig aufgehängte breite Fläche ausübt, indem er dieſelbe ſeitwärts in die Höhe hebt. Aus dem Winkel, um welchen die Fläche gehoben wird, aus ihrer Größe und ihrem Gewicht läßt ſich leicht jener Druck beſtimmen, und nach Valz's ganz ähnlich angeſtellten Beobachtungen geht die Geſchwindigkeit der heftigſten Stürme bis 100 oder 130 Fuß in der Secunde. Das empfindlichſte Inſtrument, durch welches man ſehr ſchwache Luftzüge und geringe Dichtigkeitsunterſchiede wahrnehmen kann, iſt das Wollaſton'ſche Differentialbarometer, das beſonders ſeines ſinnreichen Princips wegen der Erwähnung werth iſt. Es beſteht aus zwei Käſten b, d (I. Fig. 26), von denen der eine offen, der andere nur mit einer Oeffnung c verſehen iſt, und die durch eine zweiſchenkelige Röhre verbunden werden. Im untern Theile der Röhre befindet ſich Waſſer, darüber auf beiden Seiten Oel in gleicher Menge, welches ſich alſo in den beiden Gefäßen in ein gleiches Niveau ſtellen wird, ebenſo wie die beiden Trennungsflächen des Oeles und Waſſers. Iſt nun c mit einem Raume voll verdichteter Luft in Verbindung oder einem Luftſtrome entgegengeſetzt, ſo wächſt der Druck der Luft in b, und wenn er auch die Oberfläche in d nur ſehr wenig hebt, ſo ſtört er doch das Niveau der Waſſeroberfläche a e ſehr bedeutend. Wenn die Gefäße beträchtlich weit in Vergleichung mit der Röhre ſind, ſo kann man, um ſich dieſe Wirkung zu erklären, ganz von der geringen Hebung der Oberfläche d abſehen; es wird aber dadurch, daß die Oelſäule f e herabgedrückt wird, auf der andern Seite die Waſſerſäule a g über ihr Niveau gehoben, welche durch ihr größeres ſpecifiſches Gewicht ſo lange den Druck auf der linken Seite verſtärkt, bis er dem auf der rechten Seite ſtatt findenden das Gleichgewicht hält. Iſt nun das Waſſer nur um $1/_{20}$ ſeines eigenen Gewichtes ſchwerer als das Oel, ſo wird die gehobene Waſſerſäule a g den Druck nur ſo viel verſtärken, als unter andern Umſtänden eine Säule von $1/_{20}$ ihrer Höhe; daher würde verdichtete Luft, die in einer gewöhnlichen mit Waſſer gefüllten Windwaage das Waſſer nur um 1 Zoll höbe, hier eine Hebung der Fläche a von 20 Zoll bewirken, und alſo müſſen die geringſten Spuren von Verdichtung ſchon ſehr merkbar werden.

Widerſtand der Luft.

Der Stoß der Luft führt uns noch zur Beurtheilung einer nahe verwandten Wirkung der Luft, nämlich zur Beurtheilung des Widerſtandes, den bewegte feſte Körper in der Luft finden, und wir werden hier ebenſo wie bei tropfbaren Flüſſigkeiten vorausſetzen dürfen, daß der erfolgende Stoß ſo ziemlich derſelbe iſt, es mag nun der luftförmige oder der feſte Körper der bewegte ſeyn. Hiernach findet man den Widerſtand ebener Flächen mit hinreichender Annäherung, wenn man das Gewicht einer Luftſäule beſtimmt, welche die bewegte Fläche zur Grundfläche und die der Geſchwindigkeit der Bewegung zugehörige Druck- oder Fall-Höhe zur Höhe hat, und daraus ergiebt ſich allgemein, daß bei ebenen Flächen der Widerſtand der Größe der Fläche, der Dichtigkeit der Luft und dem Quadrate der Geſchwindigkeit proportional iſt. Bei fallenden Körpern iſt der Widerſtand im Anfange ſehr unbedeutend, mit wachſender Geſchwindigkeit aber nimmt er ſehr raſch zu und vermindert die Beſchleunigung durch die Schwerkraft immer mehr, bis endlich eine Geſchwindigkeit erreicht wird, bei welcher der Widerſtand dem Gewichte des Körpers gleich iſt und mithin ebenſo ſtark wirkt als die Schwerkraft; von dieſem Augenblicke an kann keine weitere Beſchleunigung ſtatt finden, und der Körper fällt von nun an mit gleichmäßiger Geſchwindigkeit. Faſſen wir z. B. den Augenblick auf, wo eine dreipfündige eiſerne Kugel, die ungefähr $5\frac{1}{2}$ Quadratzoll Querſchnitt haben würde, ſich beim Fallen mit 30 Fuß Geſchwindigkeit bewegt, ſo finden wir den Widerſtand gleich dem Gewichte einer Luftſäule von 15 Fuß Höhe und $5\frac{1}{2}$ Quadratzoll Grundfläche, welches $1\frac{1}{2}$ Loth betragen würde, und wegen der Verminderung des Widerſtandes durch die Krümmung der Fläche könnten wir 1 Loth rechnen. Da 1 Loth nur $\frac{1}{96}$ von 3 Pfunden iſt, ſo wirkt hier der Widerſtand nur $\frac{1}{96}$ ſo ſtark als die Schwerkraft, und bringt auch nur eine Verminderung der Fallgeſchwindigkeit hervor, welche, wenn ſie gleichmäßig fortdauerte, in der Secunde $\frac{30}{96}$ Fuß betragen würde. In einem ſpäteren Augenblicke, wo die fallende Kugel 291 Fuß Geſchwindigkeit erlangt hat, erfährt ſie einen Widerſtand gleich dem Gewichte einer Luftſäule von 1416 Fuß Höhe, das iſt $4\frac{1}{2}$ Pfund oder der Wölbung wegen 3 Pfund, und eine größere Beſchleunigung kann nun nicht eintreten, weil die ganze Wirkung der Schwerkraft ſchon durch die Ueberwindung des Widerſtandes verzehrt wird. Man nennt dieſe äußerſte Geſchwindigkeit, die ein beſtimmter Körper beim Fallen erlangen kann, den Exponenten des Widerſtandes, weil ſie ein Maaß für den Widerſtand darbietet.

Bei einer genau ebenſo großen Kugel von Holz würde der Widerſtand ſchon bei viel geringerer Geſchwindigkeit dem Gewichte gleich ſeyn. Eine ſolche Kugel würde etwa $\frac{3}{8}$ Pfund wiegen, oder $\frac{1}{8}$ deſſen, was die eiſerne Kugel wog; alſo dürfte die Druckhöhe, aus der wir vorhin die Größe der Geſchwindigkeit herleiteten, nur 177 Fuß, die Geſchwindigkeit nur ungefähr 100 Fuß in 1 Secunde ſeyn, und ſchneller bewegt ſich eine freifallende hölzerne Kugel von

$2^2/_3$ Zoll Durchmeſſer nie. Dieſer im Verhältniß zum Gewichte größere Widerſtand, den leichtere Körper finden, und die daraus entſpringende ſtärkere Verzögerung hat großen Einfluß auf die Stellung, die ein aus ungleich ſchweren Theilen beſtehender Körper bei freier Bewegung in der Luft annimmt. Es müſſen nämlich immer die ſchwerern Theile, die für ſich einen größern Widerſtandsexponenten haben, vorangehen, indem ſie weniger verzögert werden, und unter andern zeigt ſich dieß an einem aufwärts geworfenen Stabe, der, wenn er an einem Ende beſchwert iſt, beim Aufwärtsfliegen das ſchwere Ende nach oben, beim Niederfallen nach unten kehrt, während er im luftleeren Raum jede beliebige Stellung beim Fliegen beibehalten würde.

Wenn man Kugeln aus einerlei Materie, aber von ungleichem Halbmeſſer nimmt, ſo iſt der Exponent des Widerſtandes größer bei den größern, das heißt, bei freiem Falle kann die größere eine ſchnellere Bewegung erlangen, ehe Widerſtand und Schwerkraft gleich ſtark wirken. Allerdings nämlich iſt bei einer Kugel von doppelt ſo großem Durchmeſſer der geſammte Widerſtand, ſo wie der größte Querſchnitt der Kugel, viermal ſo groß; aber das Gewicht der Kugel iſt achtmal ſo groß, als bei einfachem Durchmeſſer. Reichte alſo vorhin eine Druckhöhe von 1416 Fuß Luft aus, um den Druck gleich dem Gewichte der Kugel hervorzubringen, ſo muß dieſe Druckhöhe jetzt 2832 Fuß ſeyn, damit der Druck auf die viermal ſo große Fläche bis zum achtfachen ſteige; aber zu 2832 Fuß Höhe gehört eine Geſchwindigkeit von 411 Fuß in der Secunde, und ſtatt daß die 3pfündige eiſerne Kugel höchſtens 291 Fuß Geſchwindigkeit erlangt, kann dieſe Geſchwindigkeit bei der 24pfündigen, deren Durchmeſſer das Doppelte jener iſt, 411 Fuß werden. Bei einer eiſernen Kugel von 4 mal ſo großem Durchmeſſer würde die Geſchwindigkeit 2.291 Fuß; bei einer Kugel von 9 mal ſo großem Durchmeſſer 3.291 Fuß ſeyn.

Dieſe Berechnungen zeigen, warum die in der Luft abgeſchoſſenen Kugeln ſo ſehr geringe Weiten und Höhen in Vergleichung gegen diejenigen Weiten und Höhen erreichen, die ſie ohne Widerſtand erreichen ſollten. Ich habe früher angeführt, daß eine mit 2000 Fuß Geſchwindigkeit unter 45 Grad Neigung geworfene Kugel bis 132000 Fuß oder $5^1/_2$ geographiſche Meilen weit gehen würde, welches bekanntlich in hohem Grade von der Erfahrung abweicht; aber wenn wir eine Kugel nehmen, für welche der Exponent des Widerſtandes 400 Fuß iſt, und dieſe mit 2000 Fuß Geſchwindigkeit fortſchleudern, ſo leidet ſie im erſten Augenblicke bei dieſer in Vergleichung gegen den Exponenten des Widerſtandes fünffach ſo großen Geſchwindigkeit einen 25 mal ſo großen Widerſtand als derjenige war, den wir der Schwerkraft gleich fanden. Da nun die Schwere dem aufwärtsſteigenden Körper ſchon in $^1/_{30}$ Secunde 1 Fuß Geſchwindigkeit raubt, ſo raubt dieſer Widerſtand in $^1/_{30}$ Secunde 25 Fuß Geſchwindigkeit, und würde alſo in 1 Secunde 750 Fuß Geſchwindigkeit rauben, wenn nicht mit abnehmender Geſchwindigkeit auch der Widerſtand abnähme. Wenn man dieſe Rechnungen fortſetzt, ſo findet man für eine anfängliche Geſchwindigkeit von 3000 Fuß in 1 Secunde, bei einem Neigungswinkel von

20 Graden, erſtlich daß die ſo geworfene Kugel im luftleeren Raume einen Bogen, 17600 Fuß hoch und 193000 Fuß weit, über einer horizontalen Ebne durchlaufen würde, zweitens daß eine Kugel, deren Exponent des Widerſtandes 400 Fuß iſt, das heißt eine eiſerne Kugel von 5,2 Zoll Durchmeſſer oder 23 bis 24 Pfund, oder eine bleierne Kugel von 3,6 Zoll Durchmeſſer oder 11 Pfund, oder eine Platinakugel von 2 Zoll Durchmeſſer oder $3^1/_3$ Pfund, einen Bogen von 2450 Fuß hoch und 13400 Fuß weit durchliefe, drittens daß eine Kugel, deren Exponent des Widerſtandes 250 Fuß iſt, das heißt eine eiſerne Kugel von 2 Zoll Durchmeſſer oder $^4/_5$ Pfund, eine bleierne von 1,4 Zoll Durchmeſſer oder $^2/_3$ Pfund, nur bis zu 1290 Fuß ſteigen und nur 6350 Fuß weit gehen würde.

Ich habe dieſes Beiſpiel grade ſo gewählt, um zu zeigen, daß man mit einer Platinakugel von 2 Zoll Durchmeſſer doppelt ſo weit als mit einer eiſernen Kugel von eben dem Durchmeſſer ſchießen kann. Käme es alſo darauf an, ſehr weite Schüſſe zu thun, ſo müßte man nicht ſo ſehr darauf denken, die anfängliche Geſchwindigkeit zu vermehren, weil dieſe doch durch den Widerſtand ſehr ſchnell herabgeſetzt wird, ſondern man müßte große Kugeln von ſehr ſchwerer Materie nehmen, wie es die Franzoſen vor Cadix thaten.[1]

Die Berechnung des Widerſtandes würde etwas anders zu führen ſeyn, wenn ein Körper ſich in einer auch in Bewegung befindlichen Luft fortbewegte; geſchähe die Bewegung mit dem Winde, ſo dürfte man nur den Unterſchied der, wie ich vorausſetze, größeren Geſchwindigkeit des Körpers und der des Windes als wirkſam betrachten und die dazu gehörige Druckhöhe in Rechnung bringen; geſchähe die Bewegung aber gegen den Wind, ſo käme die Summe beider Geſchwindigkeiten in Rechnung, und dieſe weſentliche Vergrößerung des Widerſtandes durch den Wind macht, daß man ſchon bei jeder irgend ſchnellen Bewegung, z. B. bei der eines Dampfwagens, darauf Rückſicht zu nehmen genöthigt iſt. Bewegte ſich ein Dampfwagen, deſſen vordere Fläche 40 Quadratfuß groß wäre, mit einer Geſchwindigkeit von 20 Fuß, ſo würde er zufolge der erörterten Berechnungsart etwa 23 Pfund Widerſtand finden, und Verſuche zeigen, daß dieſer Widerſtand wirklich einige dreißig Pfunde beträgt, was mit von der Vergrößerung des Widerſtandes durch die Seitenwände herrühren mag. Käme nun dem Wagen ein Wind von nur 20 Fuß Geſchwindigkeit entgegen, ſo betrüge die in Rechnung zu nehmende Summe der Geſchwindigkeiten 40 Fuß, und damit würde der Widerſtand auf das vierfache, alſo wenig gerechnet auf 100 Pfund anwachſen, eine Kraft, die, wie Sie ſich erinnern, ausreichend iſt, um auf der Eiſenbahn 20000 bis 25000 Pfunde zu bewegen. Bei Zügen, die aus mehreren Wagen beſtehen, wirkt auf die nachfolgenden der Widerſtand natürlich nicht ſo ſtark ein, jedoch muß man nach de Pambour's Verſuchen für jeden doch noch $^1/_7$ des vollen Widerſtandes rechnen.

[1] Die Linie, welche die Kugel vermöge des Widerſtandes der Luft, ſtatt der Parabel, durchläuft, ſ. in Brandes Lehrb. der Geſetze des Gleichgewichts u. d. Bewegung. II. Fig. 58. Genauere Angaben über den Widerſtand überhaupt enthält Schmidt's Theorie des Widerſtandes der Luft bei der Bewegung der Körper. Göttingen 1831.

Bei dem Fliegen der Vögel macht ſich der Einfluß des Windes auf doppelte Art geltend, indem er, wenn ſie gegen den Wind fliegen, nicht allein den Widerſtand vergrößert, ſondern auch die Wirkung der Flügelbewegungen an ſich ſchwächt. Die Flügel werden ſo bewegt und beugen ſich ſo zuſammen, daß ſie beim Vorwärtsbewegen einen ungleich geringern Widerſtand finden als beim Rückwärtsſchlagen; damit aber bei dieſem Rückwärtsſchlagen der Flügel überhaupt einen Stoß auf die Luft ausübe, muß er ſich wenigſtens ſchneller bewegen als der Wind, und es iſt alſo eine überaus ſchnelle Bewegung des Flügels erforderlich, wenn er eine Fortbewegung gegen einen irgend erheblichen Wind hervorbringen ſoll.

Einige noch nicht hinreichend unterſuchte Einwirkungen des Luftwiderſtandes will ich wenigſtens nicht ganz unerwähnt laſſen. Dahin gehört, daß manche Körper, z. B. ein in Form eines V ausgeſchnittenes Kartenblatt, wenn man ſie durch einen ſchnellen Schlag zugleich in rotirende und fortſchreitende Bewegung verſetzt, nur eine kurze Zeit ſich vorwärts bewegen, dann aber während des Niederfallens in ſchiefer Richtung bedeutend weit rückwärtsgehen. Es beruht hierauf die Wirkung einer bei den auſtraliſchen Wilden gebräuchlichen und, wie es ſcheint, auch alten Völkern bekannt geweſenen Wurfwaffe, die, wenn ſie horizontal geworfen und zugleich in drehende Bewegung verſetzt wird, ſehr bald aufſteigt und in einem Bogen zu dem Punkte zurückkehrt, von dem aus ſie geworfen wurde. Auf einer eigenthümlichen, ebenfalls durch die ſchnelle Drehung bedingten Einwirkung des Widerſtandes beruht wahrſcheinlich auch, daß Kanonenkugeln häufig eine doppelt gekrümmte Bahn beſchreiben, indem ſie um ein Geringes von der lothrechten Ebne, in der ſie geſchoſſen wurden, ſeitwärts abweichen.

Anwendung auf die Luftſchifffahrt.

Man hat vorgeſchlagen, auch der Bewegung des Luftballons dadurch eine willkührliche Richtung zu geben, daß man durch große, hinreichend ſchnell umgedrehte Flügelräder von zweckmäßiger Conſtruction einen Stoß gegen die Luft, auf ähnliche Art wie beim Fluge der Vögel, hervorbrächte. Wie wenig man ſich von dieſem und jedem entfernt ähnlichen Hülfsmittel zu verſprechen habe, geht aus der Schätzung des Widerſtandes hervor, den der Ballon in der Luft findet. Ein Ballon von 30 Fuß Durchmeſſer würde 700 Quadratfuß Querſchnitt haben und, wenn er ſich in ruhiger Luft mit 10 Fuß Geſchwindigkeit ſeitwärts bewegen ſollte, einen Widerſtand von etwa 70 Pfunden in jedem Augenblicke überwinden müſſen. Dieſe Wirkung würde, ſelbſt wenn ſie von einer feſt auf der Erde ſtehenden Maſchine hervorgebracht werden ſollte, eine Maſchine von mehr als einer Pferdekraft erfordern; ſollte nun aber der Ballon dem Winde entgegen bewegt werden, ſo würde bei einem Winde von 10 Fuß Geſchwindigkeit die nöthige Kraft 4mal, bei einem Winde von 20 Fuß Geſchwindigkeit 9mal, bei 60 Fuß Geſchwindigkeit 49mal ſo groß ſeyn. Schon im vorletzten der erwähnten Fälle, alſo bei einem noch

ziemlich ſchwachen Winde, würde hiernach eine Maſchine von 12 Pferdekräften erforderlich ſeyn, und dazu käme dann noch die beim Fluge der Vögel erwähnte Schwierigkeit, daß bei einer Umdrehungsgeſchwindigkeit von 30 Fuß in der Secunde die Flügel noch gar keinen Stoß gegen die Luft ausüben würden, daß ſie alſo unter Verwendung eines weit bedeutenderen Krafteffects mit viel größeren Geſchwindigkeiten umgedreht werden müßten, wenn ſie ihre Wirkung thun ſollten. Hierbei macht auch das keinen erheblichen Unterſchied, daß in größeren Höhen der Widerſtand abnimmt, weil in demſelben Maaße auch die Wirkſamkeit der Flügel bei gleichbleibender Geſchwindigkeit derſelben abnimmt. Wenn man außerdem bedenkt, daß ein Ballon von der vorausgeſetzten Größe nur etwa 600 Pfund außer ſeinem eigenen Gewichte zu tragen vermag und daß der geringſte Impuls ihn in eine drehende Bewegung verſetzen kann, ſo wird man wohl geneigt ſeyn, dieſe Idee einer vom Winde unabhängigen Fortbewegung aufzugeben. Daß man hingegen den Wind benutzen könne, um ſich nach der Richtung treiben zu laſſen, in der er grade weht, iſt an ſich klar, und zahlreiche Luftreiſen, von denen freilich manche einen unglücklichen Ausgang nahmen, haben es bewieſen. Die große, vollkommen der des Windes gleiche Geſchwindigkeit, womit dieſe Reiſen vor ſich gehen, wird unter andern dargethan durch die bekannte Luftreiſe Green's, der mit einem Ballon von 60 Fuß Durchmeſſer von London aus über den Kanal mit einem grade günſtigen Winde nach Frankreich treiben wollte, dabei aber in 19 Stunden nach Naſſau gelangte. Noch größere Geſchwindigkeiten bis zu 17 deutſchen Meilen in der Stunde oder etwa 110 Fuß in einer Secunde hat man bei andern Luftfahrten beobachtet, und man könnte ſich derſelben recht wohl bedienen, wenn es grade gelänge, unter den in verſchiedener Höhe häufig verſchieden gerichteten Luftſtrömungen eine paſſende anzutreffen; nur darf man nicht daran denken, ſich eines ſolchen Windes zum Segeln und Steuern bedienen zu wollen, wie es bei Schiffen im Waſſer geſchieht; vielmehr würde der Luftballon trotz aller Segel immer in der Richtung fortgehen, die der Wind hat, da die Lenkung durch Segel nur auf dem Widerſtande beruht, den das Schiff im Waſſer findet, und da das Steuer auch nur dann wirken kann, wenn es mit dem Schiffe zugleich eine eigenthümliche, von der des Waſſers verſchiedene Bewegung durch fremde beſchleunigende Kräfte erlangt hat.

Der Fallſchirm.

An die Kunſt, ſich hoch in die Luft zu erheben und ſie zu durchſchiffen, hat der nie befriedigte Erfindungsgeiſt, der an das Bewundernswürdige immer noch etwas, um das Erſtaunen zu ſteigern, anzuknüpfen geneigt iſt, auch noch die Mittel, unbeſchädigt aus jenen Höhen herabzufallen, angeknüpft. Garnerin und andere Luftſchiffer haben dieſes Schauſpiel, ſich zuerſt hoch zu erheben und dann mit einem Fallſchirme herabzulaſſen, öfter dargeſtellt, und obgleich ſie bei dieſen Experimenten nur die Darſtellung einer neuen und Verwunderung erregenden Erſcheinung beabſichtigten, ſo iſt doch auch dieſe Kunſt

einer wiſſenſchaftlichen Betrachtung werth und kann zu nützlichen Anwendungen führen. Der Fallſchirm, deſſen ſich die Luftſchiffer bedienen, iſt entweder ſo eingerichtet, daß er zwar zuerſt zuſammengefaltet wenig Raum einnimmt, aber beim Fallen ſich ausbreitet und dann, gleich einem ausgeſpannten Regenſchirme, über dem herabfallenden Luftſchiffer ſchwebt, oder er wird gleich in ſeiner ausgebreiteten Geſtalt unter dem Luftballon angebracht und bei der Trennung vom Ballon hindert er in beiden Fällen durch den Widerſtand, welchen er in der Luft findet, das zu ſchnelle Herabſtürzen. Wenn Sie ſich an die Berechnungen erinnern, die wir früher ſchon über den Widerſtand der Luft angeſtellt haben, ſo werden Sie leicht die Mittel überſehen, die ſich uns hier dabieten, um bei gegebener Größe des Fallſchirms und gegebener Schwere der Belaſtung die Geſchwindigkeit zu finden, welche der in der Luft fallende Körper höchſtens erlangen kann. Wenn ein Fallſchirm von 15 Fuß Durchmeſſer, deſſen Fläche alſo etwas über 170 Quadratfuß beträgt, mit einer Geſchwindigkeit von 20 Fuß in der Secunde herabfällt, ſo iſt der Widerſtand, den er leidet, gleich dem Gewichte einer Luftſäule von 170 Quadratfuß Querſchnitt und 13 Fuß Höhe, weil nämlich zu 20 Fuß Geſchwindigkeit eine Fallhöhe von 6½ Fuß gehört und der Widerſtand durch die hohle Wölbung des Schirms ſehr verſtärkt wird; eine ſolche Luftſäule aber wiegt 180 Pfund, und wenn das ganze Gewicht des Fallſchirms und des herabfallenden Menſchen nahe an 180 Pfund betrüge, ſo würde die größte erlangte Geſchwindigkeit nur 20 Fuß betragen. Um zu ſchätzen, wie ſtark der Stoß ſeyn möchte, mit welchem wir bei ſo ſchneller Bewegung auf die Erde aufträfen, haben wir nur nöthig, zu bedenken, daß ein Sprung von 6½ Fuß Höhe uns im luftleeren Raume eine Geſchwindigkeit von 20 Fuß erlangen läßt, und daß wir einen ſolchen Sprung ohne großes Bedenken wagen würden.

Dieſe Betrachtung kann in einer ſehr wichtigen Beziehung nützlich werden. Der Fall iſt nicht ſo ſehr ſelten, wo bei Feuersbrünſten Menſchen genöthigt ſind, ſich von erheblicher Höhe herabzuſtürzen, und man hat daher mit Recht gefragt, wie viel Sicherung beim Herabſtürzen es gewähre, wenn man einen großen und leichten Körper als Fallſchirm benutzt. Und hier zeigt es ſich, daß ſelbſt Fallſchirme von mäßiger Größe ſchon einigen Nutzen gewähren, indem ein gewöhnlicher Regenſchirm von 4½ Fuß Durchmeſſer oder 15 Quadratfuß Inhalt bei 20 Fuß Geſchwindigkeit einen Widerſtand von etwa 18 Pfunden hervorbringt, dadurch aber die Geſchwindigkeit des Falles eines 36 Pfund ſchweren Körpers ſchon ſo vermindert, daß bei Höhen, die nicht ſehr groß ſind, der Fall ziemlich unſchädlich werden kann. Ein ſolcher Fallſchirm thäte für ein Kind ſchon erhebliche Dienſte; für erwachſene Menſchen nimmt die erforderliche Größe immer mehr zu. Die Gefahr, der man ſehr oft unterworfen bleibt, daß der Fallſchirm eine andre, weniger Widerſtand leiſtende Seite der widerſtehenden Luft darbiete, muß man dadurch, daß der ſchwere Körper in einiger Tiefe unter dem Fallſchirme angebracht iſt, zu heben ſuchen; aber dennoch bleibt das Herabſinken mit dem Fallſchirme nicht ohne Gefahr,

indem ſelbſt das ſtarke Schwanken des an einem Seile herabhängenden Schiffchens ſo ſtark werden kann, daß der Luftſchiffer Gefahr läuft, herausgeſchleudert zu werden.

Auch das Herabſinken mit dem Luftball ſelbſt iſt nicht ohne Gefahren. Theils erreicht der ſeiner brennbaren Luft nach und nach ſchon in ziemlichem Grade beraubte Luftball eine nicht ganz unerhebliche Fallgeſchwindigkeit, theils iſt die Schnelligkeit, mit welcher der Wind ihn fortführt, und ihn in ſchwankender Bewegung bald hinauf, bald hinab fortreißt, oft ſehr bedeutend, und der Luftſchiffer muß daher, wenn ſein Schiffchen im Begriffe iſt, auf dem Boden aufzuſtoßen, ſich ſo hoch als möglich an den Stricken des Ballons feſthalten, damit der Stoß, den ſein Schiffchen leidet, ihn ſo wenig als möglich treffe. Er ſucht dann gewöhnlich durch einen ausgeworfenen Anker ſich an irgend einem paſſenden Gegenſtande feſtzuhalten und muß für den Fall, daß die Gegend ihm zum Landen unpaſſend ſchiene, immer noch einen kleinen Reſt von Ballaſt übrig haben, um ſich noch etwas höher wieder heben, wenigſtens ſein Sinken vergrößern zu können.

Ich ſchließe heute die Unterſuchungen, welche die größern und dem Auge ſo wie dem Gefühle merkbaren Bewegungen der Luft und der Körper überhaupt betreffen, und werde in der nächſten Vorleſung zu einer andern Claſſe von Bewegungen übergehen, die unſerem Auge und unſerem Gefühle faſt entgehen, wenigſtens der Wahrnehmung dieſer Sinne wenig merkwürdig ſcheinen würden, wenn nicht das Ohr uns hier zum Führer in einer neuen Reihe der allermerkwürdigſten Erſcheinungen verliehen wäre.

Zwanzigſte Vorleſung.

An die Betrachtungen über das Gleichgewicht und die Bewegung feſter und flüſſiger Körper ſchließen ſich die Unterſuchungen über diejenigen Vibrationen der Theilchen der Körper an, die, zu ſchwach, um von unſern übrigen Sinnen mit Genauigkeit wahrgenommen zu werden, bloß auf das Gehör den Eindruck des Schalles hervorbringen. Dieſe Unterſuchungen gehören zu den merkwürdigſten und anziehendſten in der ganzen Phyſik; denn obgleich ſie uns keinen Aufſchluß über den wundervollen Eindruck, welchen die Muſik nicht auf unſer Ohr allein, ſondern auf unſer Gemüth macht, über den ihr eignen Ausdruck von heiterer oder fröhlicher, von ernſter oder trauriger Empfindung, über die Mittheilung von Begriffen und Empfindungen durch die Sprache, kurz über die ganze Einwirkung der hörbaren Töne auf unſre geiſtige Thätigkeit geben können, ſo enthalten ſie doch, ſelbſt in ihren bloß mechaniſchen Beziehungen, ſo viel Unerwartetes, zeigen uns zwiſchen den mechaniſchen Beſtimmungen der Töne und dem Wohlgefallen oder Mißfallen, das unſer Ohr daran findet, eine ſo ſicher begründete Uebereinſtimmung, daß man kein Bedenken tragen darf, die Acuſtik, die Lehre vom Schalle, als einen der ſchönſten Theile der Naturlehre zu empfehlen.

Entſtehung, Höhe, Klang der Töne.

Daß wir unter Schall jede Einwirkung auf unſer Gehör verſtehen, iſt bekannt, und eben ſo bekannt ſind die vielen Worte, durch welche wir verſchiedene Arten des Schalles oder die Ungleichheit des Eindruckes, den er auf unſer Ohr macht, bezeichnen. Das allgemeinſte darunter iſt das Wort Schall, welches alle andere in ſich ſchließt; von den andern will ich nur einige zu erklären ſuchen. Geräuſch iſt ein zwar längere Zeit fortwährender, aber nicht die Empfindung einer Gleichartigkeit in ſeiner ganzen Dauer gebender Schall; der Ton hingegen hat dieſe Gleichartigkeit. Wir geben aber der Abwechſelung mehrerer Töne nicht den Namen eines Geräuſches, weil unſer Ohr fein geung hört, um ſelbſt in dem ſchnellen Wechſel der Töne die Reinheit des Tones das iſt den gleichartigen Eindruck während der ſehr kurzen Zeit der Dauer eines Tones, zu bemerken. Vom Tone zum bloßen Geräuſch findet ein Uebergang ſtatt, und in dem Geräuſche kann ein dumpfer Ton erkennbar werden, ohne Zweifel dann, wenn unter den einzelnen Schallerregungen einige gleichförmig dauernd mit andern, ſelbſt in den kleinſten Zeitmomenten ungleichartigen gemiſcht ſind. Auch inſofern findet ein Uebergang ſtatt, daß aus einem Geräuſche bisweilen ein Ton wird, wenn die einzelnen, der Stärke wegen auch für ſich hörbaren Stöße ſo ſchnell auf einander folgen, daß ſie nicht mehr einzeln aufgefaßt werden. Wenn man über ein gekerbtes Holz oder über die Zähne einer Säge mit einem harten Gegenſtande langſam hinfährt, ſo hört man ein Klappern, je ſchneller man aber dahin fährt, deſto mehr wird aus dem Klappern ein Ton, in welchem die einzelnen Stöße nicht mehr unterſchieden werden. Damit nun ein Ton entſtehe, iſt es keineswegs erforderlich, daß alle dieſe einzelnen Stöße ſtark genug ſind, um jeder für ſich hörbar zu ſeyn, vielmehr ſind gerade bei den meiſten und angenehmſten Tönen die einzelnen Impulſe viel zu ſchwach, um allein einen Eindruck hervorzubringen, und nur durch ihre ſchnelle und regelmäßige Aufeinanderfolge wird ihr Geſammteindruck wahrnehmbar. Die Töne, ſo unendlich mannigfaltig ſie auch ſind, ſind doch nur in zwei Beziehungen von einander verſchieden, indem ſie ſich entweder durch ihre Höhe und Tiefe unterſcheiden, wie die verſchiedenen Töne, die nach einander beim Spielen einer Melodie auf einem und demſelben Inſtrumente vorkommen, oder indem ſie einen verſchiedenen Klang (Klangfarbe, timbre) haben, wie die übereinſtimmenden Töne einer Melodie, wenn dieſelbe nach einander auf verſchiedenen Inſtrumenten, z. B. Blas- und Saiteninſtrumenten, geſpielt wird. Da nun die Töne, wie die gewöhnlichſte Erfahrung zeigt, durch Zitterungen von Körpern entſtehen, ſo iſt zunächſt zu unterſuchen, wie die Verſchiedenheit der Töne mit der Verſchiedenheit dieſer Zitterungen zuſammenhängt. Am vollkommenſten iſt dieſer Zuſammenhang für die Höhe und Tiefe der Töne nachgewieſen, und die Betrachtung der einfachſten Schwingungen der Saiten wird am beſten geeignet ſeyn, ihn zu erläutern.

Schwingungen der Saiten.

Die Schwingungen, in welche wir die Saiten durch Anſchlagen mit Hämmern oder durch das Streichen mit einem Violinbogen, quer gegen die Richtung der Saiten, verſetzen, entſtehen dadurch, daß die elaſtiſche grade ausgeſpannte Saite ein wenig verlängert, in eine gekrümmte Lage gebracht und dann frei gelaſſen wird. Vermöge ihrer Elaſticität ſtrebt ſie zu dem natürlichen Zuſtande zurück, ſie verkürzt ſich nämlich wieder, während jedes Theilchen in einer auf die Richtung der ganzen Saite ſenkrechten Richtung gegen den Punkt zurückgeht, welchen es vor der Dehnung, vor der Entfernung vom Zuſtande des Gleichgewichts, einnahm; aber indem die Kraft der Elaſticität jedes Theilchen auf dieſe Weiſe nöthigt, eine gewiſſe Geſchwindigkeit anzunehmen, gelangt dieſes in die Stelle, welche es vorhin bei dem natürlichen Zuſtande ruhend einnahm, mit einer Geſchwindigkeit, die es über dieſen Punkt hinausführt; jedes Theilchen geht daher an der andern Seite in eine neue Entfernung von der graden Linie hinüber, und kehrt, nachdem die Wirkung der Elaſticität jene erlangte Geſchwindigkeit zerſtört hat, ebenſo wieder zurück. Dieſe Wechſel des Zurückkehrens zum Gleichgewichtsſtande, des durch die Trägheit bewirkten Hinausgehens über dieſen Zuſtand und des abermaligen Zurückkehrens würden ununterbrochen dauern, wenn nicht die Steifheit der Saite, als Widerſtand gegen dieſe Bewegung, ſehr bald die Ausweichungen verkleinerte und endlich ganz zerſtörte.

Da dieſe Vibrationen der Saite, oft wiederholt, ganz gleichartig wiederkehren und jede derſelben eine entſprechende Bewegung der Lufttheilchen hervorbringt, die ſich nach allen Seiten ausbreitet und auch unſer Ohr trifft, ſo nimmt letzteres die Geſammtheit dieſer an ſich zu ſchwachen, aber regelmäßigen Eindrücke als Ton wahr, und wir nennen denjenigen Ton einen **höheren**, der durch ſchneller auf einander folgende Schwingungen hervorgebracht wird, den durch langſamere, ſeltner wiederholte Schwingungen hervorgehenden Ton einen **tieferen**. Wenn man die Schwingungen ſo bewirkt, daß ſie immer langſamer erfolgen, ſo wird der Ton tiefer, und endlich dumpf; das Ohr erkennt in dem dumpfen Getöne kaum noch einen Ton, und wenn die Zitterungen noch langſamer auf einander folgen, ſo glaubt man in dem Klirren oder Schwirren faſt ſchon die einzelnen Vibrationen abzählen zu können; endlich erkennt man die Schwingungen als wirklich zählbar, aber hört dann durchaus keinen Ton mehr.

Die allgemeinen Bewegungsgeſetze laſſen uns leicht einige Beſtimmungen über die Schwingungszeiten der Saiten finden, und das eben Angeführte läßt ſchon im Voraus überſehen, daß daran eine Beſtimmung des Tones, den die Saite giebt, ſich anknüpfen wird. — Die Kraft, welche als bewegende Kraft jedes Theilchen der Saite zu der graden Linie, in welcher es ſich beim Gleichgewichte befand, zurückzieht, iſt die Kraft der Elaſticität, und ſie iſt daher der Spannung, die wir als durch ein beſtimmtes Gewicht hervorgebracht

anſehen wollen, proportional; die bewegte Maſſe iſt offenbar durch das Gewicht jedes einzelnen Theiles der Saite beſtimmt. Sind zwei Saiten von einerlei Materie gleich lang zwiſchen den Befeſtigungspunkten und gleich dick, aber von ungleichen Gewichten geſpannt, ſo iſt die beſchleunigende Kraft, welche die Fortbewegung jedes einzelnen Punktes beſtimmt, doppelt ſo groß bei doppelt ſo großer Spannung, dreimal ſo groß bei dreimal ſo großer Spannung; und da eine viermal ſo große beſchleunigende Kraft den Körper viermal ſo weit in der erſten Secunde führt, als die einfache beſchleunigende Kraft, dagegen die einfache beſchleunigende Kraft in 2 Secunden den Körper viermal ſo weit als in 1 Secunde führt, ſo iſt hier bei der vierfachen ſpannenden Kraft der durchlaufene Weg in einem Zeittheilchen ſo groß, als bei der einfachen ſpannenden Kraft in 2 Zeittheilchen, oder die Vibrationen ſind doppelt ſo zahlreich in gleicher Zeit bei vierfacher Spannung als bei einfacher, dreimal ſo zahlreich in gleicher Zeit bei neunfacher Spannung und allgemein der Quadratwurzel aus der Spannung proportional. Ebenſo läßt ſich für gleiche Länge und gleiche Spannung die Schwingungszeit vergleichen, wenn die Dicke der Saite ungleich iſt. Eine doppelt ſo dicke, allemal als cylindriſch vorausgeſetzte Saite enthält in jedem Querſchnitte viermal ſo viel Maſſe, als die von der einfachen Dicke; iſt daher die Spannung gleich groß, ſo wirkt eben die bewegende Kraft auf viermal ſo viel Maſſe bei jener, als bei dieſer, und die Beſchleunigung iſt bei der doppelt ſo dicken Saite nur ein Viertel deſſen, was ſie bei der einfachen Dicke iſt; die doppelt ſo dicke Saite braucht alſo bei gleicher Länge und gleicher Spannung doppelt ſo viel Zeit zu einer ähnlichen Vibration, das iſt, die doppelt ſo dicke Saite macht halb ſo viele Vibrationen in beſtimmter Zeit, als die von einfacher Dicke. Obgleich dieß ſich am deutlichſten nur auf ähnliche Vibrationen bezieht, auf ſolche nämlich, bei denen gleiche Ausweichungen vom Zuſtande der Ruhe ſtatt finden, ſo läßt ſich doch auf eben dieſe Weiſe, wie bei der Pendelbewegung, zeigen, daß es hierbei auf die Größe der Vibrationen nicht ankommt, ſondern die Vibrationen gleichzeitig ſtatt finden, ſie mögen größer oder kleiner ſeyn, zumal da ſie gewiſſe Grenzen nicht zu überſchreiten pflegen.

Hiemit ſind zwei Hauptgeſetze für die Dauer einer Vibration gegeben; das dritte Hauptgeſetz betrifft die ungleiche Dauer der Vibrationen bei verſchiedener Länge der Saiten. Wenn wir bei gleicher Einwirkung der Schwere zwei Pendel, das eine viermal ſo lang als das andere, aufhingen, ſo mußte der ſchwere Punkt des langen Pendels unter der ganz ähnlichen Einwirkung derſelben Schwerkraft allemal einen viermal ſo langen Bogen, als der des kurzen, durchlaufen, wenn ſie um gleiche Winkel gehoben waren; das 4mal ſo lange Pendel gebrauchte daher zweimal ſo lange Zeit zu ſeinen Oſcillationen, und ſo war allemal die Schwingungszeit zweimal ſo groß bei vierfacher, dreimal ſo groß bei neunfacher Länge, oder den Quadratwurzeln aus den Längen proportional. Bei den Saiten, obgleich die Vibrationen den Schwingungen des Pendels ziemlich ähnlich ſind, iſt die Betrachtung doch darum verſchieden,

weil die Maſſe der Saite mit ihrer Länge in gleichem Verhältniſſe zunimmt, ſtatt daß wir dem längern Pendel doch nur eben die Maſſe beizulegen brauchten wie dem kurzen. Denken wir uns hier Saiten, deren Längen 1 und 4 ſind, beide auf ähnliche Weiſe vom Gleichgewichtszuſtande entfernt, ſo hat jedes Tauſendtel der letztern viermal ſo viel Maſſe, als jedes Tauſendtel der erſtern, und ſchon deshalb würde die Schwingungszeit doppelt ſo lang ſeyn; aber aus eben dem Grunde, wie bei dem viermal ſo langen Pendel, verdoppelt die Schwingungskraft ſich abermals, die viermal ſo lange Saite hat daher eine viermal ſo lange Schwingungszeit, als die von einfacher Länge, und überhaupt nimmt die Dauer jeder Schwingung in eben dem Maaße, wie die Länge der Saite, zu. Wenn alſo eine Saite von beſtimmter Länge hundert Schwingungen in einer gewiſſen Zeit macht, ſo vollendet, dieſer theoretiſchen Betrachtung zufolge, die halb ſo lange Saite 200 Schwingungen in eben der Zeit, die ein Drittel ſo lange Saite 300 Schwingungen in eben der Zeit, wenn die übrige Beſchaffenheit der Saiten einerlei und die ſpannende Kraft bei allen gleich iſt.

Es iſt wohl natürlich, daß wir uns, ſobald wir uns von dieſen Sätzen überzeugt haben, an die Erfahrung wenden, um von ihr eine Beſtätigung dieſer theoretiſchen Schlüſſe zu erhalten. Aber obgleich das Abzählen dieſer Vibrationen bei langſamen Schwingungen dieſe Geſetze genau beſtätiget, ſo findet doch dieſe Vergleichung in der zu großen Schnelligkeit, mit welcher ſie auf einander folgen, bald ihre Grenze, und es bleibt uns nur die Vergleichung übrig, welche das Gehör uns darbietet. Indem wir dieſe verſuchen, zeigt ſich uns die überraſchendſte Uebereinſtimmung, die uns nur je vorkommen kann. Der Muſiker kennt, wenn ein Ton angegeben iſt, den beſtimmten andern Ton, welchen man die Octave jenes Grundtones nennt, er kennt die Quinte, die Quarte, die doppelte Octave, die Terze dieſes Grundtones, und dieſe Töne ſind ihm in ihrem Verhältniſſe zu jenem Grundtone merkwürdig, weil ſie mit demſelben zuſammen dem Ohre angenehm ſind, Conſonanzen darbieten, ſtatt daß das Zuſammentönen des Grundtones mit manchen andern Tönen diſſonirend iſt. Und grade auf jene conſonirenden Töne führt uns der Verſuch, wenn die Anzahl der Schwingungen ſich verdoppelt, verdreifacht, oder viermal und fünfmal ſo groß wird.

Man bedient ſich unter dem Namen Monochord eines Inſtruments, wo eine Saite in Schwingung geſetzt wird, und wo man durch verſchiedene Länge, Dicke und Spannung der Saite alle die verſchiedenen Schwingungen hervorbringen kann, die wir ſo eben theoretiſch beſtimmt haben. Dieſes Inſtrument dient dem muſicaliſchen Ohre zur Vergleichung der unter beſtimmten Umſtänden hervorgehenden Töne und kann daher Tonmeſſer, Tonvergleicher genannt werden. Um den Saiten, wenn ſie zum Tönen gebracht werden, eine beſtimmte Länge zu geben, werden ſie in zwei Punkten durch den Steg feſtgehalten, und nur der zwiſchen dieſen feſten Punkten liegende Theil der Saite wird in ſchwingende Bewegung geſetzt. Will man der Saite eine andre

Länge geben, ſo verändert man die Stelle, wo das Feſthalten ſtatt findet. Um aber die Spannung abzumeſſen, hat das ganze Inſtrument eine verticale Stellung, die Saite wird durch angehängte Gewichte in den angemeſſenen Zuſtand der Spannung gebracht und dann in jenem Punkte feſt eingeklemmt; ſoll die Spannung eine andre werden, ſo löſt man die Klemmung, hängt vermehrte oder verminderte Gewichte an, und ſtellt die Klemmung wieder her, wenn die Saite ſich der neuen Spannung gemäß ausgedehnt hat.

Bedient man ſich dieſes Inſtruments und behält einerlei Saite und einerlei Spannung bei, giebt aber dem tönenden Theile der Saite zuerſt eine willkürliche Länge, dann die Hälfte, dann das Drittel, dann das Viertel der Länge, ſo findet man, daß der Ton, den die halb ſo lange Saite angiebt, die nächſt höhere Octave zu dem Grundtone iſt, den die ganze Länge angab, daß die ein Drittel ſo lange Saite die höhere Octave der obern Quinte des Grundtons, daß die ein Viertel ſo lange Saite die zweite höhere Octave des Grundtons angiebt. Bedient man ſich zweier Saiten, gleich geſpannt, aber die erſte doppelt ſo dick und halb ſo lang, als die zweite, ſo geben ſie einerlei Ton, ſo wie auch nach der oben ausgeführten Theorie die Zahl ihrer Schwingungen gleich iſt; ſind ſie beide gleich lang und gleich geſpannt, ſo giebt die doppelt ſo dicke die tiefere Octave zu der andern. Und eben dieſe Uebereinſtimmung, daß die nach der Theorie doppelt ſo ſchnell ſchwingende Saite die höhere Octave giebt, die dreimal ſo ſchnell ſchwingende Saite die Octave der Quinte u. ſ. w., findet ſtatt, wenn ungleiche Spannung die ungleiche Zahl der Schwingungen bewirkt.

Auf dieſer merkwürdigen Uebereinſtimmung beruhen nun alle Vergleichungen, zu welchen das Monochord dienen kann. Wir haben eine zufällig gewählte Saite aufgeſpannt und wollen wiſſen, wie viele Schwingungen ſie macht, während die Saite unſers Monochords eine Schwingung macht; — geſetzt wir fänden, daß der ſiebente Theil der Monochordsſaite eben den Ton gäbe, wie jene, ſo wüßten wir, daß jene Saite ſieben Schwingungen macht, während die ganze Saite des Monochords nur eine Vibration vollendet.

Die bisher mitgetheilten Geſetze würden nicht allein zu Beſtimmung des Verhältniſſes der Schwingungszeiten bei verſchiedenen Saiten dienen, ſondern ſelbſt die wahre Anzahl der Schwingungen ergeben, wenn nicht bei dem Fortrechnen von einer geringen Zahl von Schwingungen auf die viel zahlreicheren ſo leicht ein Fehler ſtatt finden könnte. Nähme man nämlich eine ſo dicke und lange Saite, daß ſie bei mäßiger Spannung nur eine oder wenige Vibrationen in einer Secunde machte, ſo könnte man dieſe nicht mehr als Ton hörbaren, aber mit dem Auge abzählbaren Schwingungen zum Grunde legen und nun bei einer halb ſo langen Saite auf doppelt ſo ſchnelle Schwingungen, bei einer ein Zehntel ſo langen und auch nur ein Zehntel ſo dicken Saite auf hundertmal ſo ſchnelle Schwingungen rechnen. Die Rechnung würde richtig ſeyn, aber der unbedeutendſte Fehler in der Abzählung der erſten Schwingungen würde ſich bei der eben erwähnten Anwendung auf das Hundertfache und ſo immer weiter vermehren, ſo daß, wenn man die erſten Schwingungen als

$\frac{1}{2}$ Secunde dauernd angeſehen hätte, ſtatt daß ſie vielleicht $\frac{5}{7}$ Secunde dauerten, man der 40mal ſo ſchnell ſchwingenden Saite 80 Schwingungen in der Secunde beilegen würde, ſtatt daß ihr 93 wirklich zukämen. Die aus Verſuchen hergeleitete Beſtimmung würde alſo auf dieſem Wege nicht ſehr genau werden. Die Theorie ſelbſt giebt zwar noch eine andre Regel, um aus dem bloßen Gewichte der Saite, aus ihrer Länge und Spannung die Anzahl der Schwingungen zu berechnen, aber es bedarf doch der Vergleichung mit der Erfahrung, um uns zu überzeugen, daß hiebei Nebenumſtände, zum Beiſpiel die Steifheit der Saite, keine zu große Unſicherheit hervorbringen.

Schon dieſe wenigen Nachweiſungen über die Verhältniſſe der Schwingungszahlen, die zu verſchiedenen Tönen gehören, können uns über den Zuſammenhang, der zwiſchen der Acuſtik und zwiſchen den erſten Grundſätzen der Muſik ſtatt findet, einigen Aufſchluß geben. In der That gehört es zu dem Ueberraſchendſten, was die Naturbetrachtung darbietet, daß die vom Abzählen der Saitenſchwingungen ſo ganz unabhängig ſcheinende Muſik dennoch ſich ſo ſehr an Zahlenverhältniſſe anſchließt, daß man glauben möchte, die Harmonie der Töne ſey nichts anders, als ein Zuſammentreffen leichter Zahlenverhältniſſe; und wenn man auch dieſe Behauptung nicht ſtreng durchführen kann, ſo finden wir doch wirklich in einer leichten arithmetiſchen Betrachtung die Mittel, um die gewöhnliche Tonleiter darzuſtellen und alle die Töne, deren die Muſik ſich bedient, als arithmetiſch begründet, abzuleiten [1].

Entſtehung der Dur=Tonleiter.

Daß da, wo unſer Ohr einen und denſelben Ton hört, die Anzahl der Schwingungen einerlei iſt, davon können wir uns, wie Sie aus unſern vorigen Betrachtungen wohl überſehen haben, ſehr gründlich überzeugen. Die Theorie

[1] Um für diejenigen, denen die aus der muſicaliſchen Bezeichnung der Töne hergenommenen Ausdrücke fremd ſeyn ſollten, dasjenige, was ich hier nothwendig vorausſetzen muß, einigermaßen zu ergänzen, ſetze ich einige Bemerkungen hieher.

Ein jeder wird ſich leicht auf der Claviatur eines Clavieres oder Fortepiano's zeigen laſſen, wie die Töne C, D, E, F, G, A, H auf einander folgen, wie ſich c wieder an H anſchließt und ſo die neue Octave der vorigen gleich fortgeht. Da hier dieſelben Tonnamen, C zum Beiſpiel, in jeder Octave vorkommen, ſo unterſcheidet man ſie dadurch, daß man das tiefe Baß=C, über welches hinaus wohl noch ein Theil der tiefern Octave, ſelten die ganze Octave, auf dem Fortepiano vorkömmt, als das große C bezeichnet, das nächſte c als das kleine ungeſtrichene c; die folgende Octave erhält einen, die dann folgende Octave zwei Striche über den Buchſtaben und die Töne heißen dann das eingeſtrichene, das zweigeſtrichene c, nämlich $\bar{c}$ und $\bar{\bar{c}}$, und ſo ferner. In der Octave, die noch tiefer als C iſt, führen die Töne den Namen Contra=C und ſo die übrigen.

Von C an iſt D der zweite Ton und D heißt daher die obere Secunde zu C, wir ſagen, D iſt um einen ganzen Ton höher als C; aus ähnlichen Gründen giebt der dritte Ton E die höhere große Terze zu C, F giebt die Quarte, G die Quinte an, und wenn wir durch die Töne C, E, G fortſchreiten, ſo geſchieht dieſe Fortſchreitung durch die große Terze von C bis E, durch eine kleine Terze von E bis G, indem, wie nachher erhellt, das Intervall von E bis F kein ganzer, ſondern nur ein halber Ton iſt, alſo von E bis G nur anderthalb ganze Töne. Ebenſo iſt A die große Terze zu F, ferner c iſt die Quinte zu F und ſo weiter. Die Entſtehung der mit Cis, Fis u. ſ. w. bezeichneten Töne kömmt nachher vor.

Die Anordnung des Notenſchreibens kann man ſich ſo leicht erklären laſſen, daß ich davon hier nichts bemerke.

giebt an, wie Saiten von verſchiedener Länge in Dicke oder Spannung ungleich ſeyn müſſen, um gleiche Schwingungszahlen zu geben, und Sie werden in der Folge ſehen, daß ſich ebendieß von den meiſten andern tönenden Körpern behaupten läßt; — unſer Ohr überzeugt uns nun, daß in allen dieſen Fällen, wo die Rechnung gleich ſchnelle Vibrationen angiebt, ein gleicher Ton hervorgeht, daß bei aller Verſchiedenheit des Klanges, der uns das Saiten-Inſtrument vom Blas-Inſtrumente und das eine Saiten-Inſtrument vom andern leicht unterſcheiden läßt, dennoch der Ton uniſon, völlig übereinſtimmend bei gleicher Schwingungszahl gefunden wird. Dieſe Ueberzeugung finden wir ſo durchaus in allen Fällen beſtätigt, daß die kleinen Unſicherheiten, welche in der theoretiſchen Beſtimmung der abſolut gleichen Schwingungszahlen allerdings übrig bleiben, auf keine Weiſe den Satz, daß ein gleicher Ton ſtreng an eine gleiche Anzahl der Schwingungen geknüpft ſey, zweifelhaft machen können.

Einfache Erfahrungen lehrten uns, daß, wenn die Zahl der Schwingungen die doppelte wird, der Ton zur nächſt höheren Octave hinübergegangen iſt, und unſer Ohr erkennt in dieſem Tone eine ſehr nahe Verwandtſchaft mit dem vorigen. Dieß könnte uns wohl bewegen, zu fragen, welche Schwingungszeiten wir denn den Tönen geben müßten, damit ſie ſich durch einfache Zahlenverhältniſſe empföhlen; und wenn wir dieſe Frage zu beantworten ſuchen und mit dem Monochord uns die ſo beſtimmten Töne wirklich verſchaffen, ſo zeigt ſich, daß die harmoniſchen Töne ſich alle auf dieſe Art in unſern arithmetiſchen Betrachtungen wiederfinden.

Wir wollen von einem Ton ausgehen, den wir nach Art der Muſiker mit C bezeichnen, ſo iſt ſeine Octave c der Ton, welcher zwei Schwingungen macht, während C eine Schwingung macht, und wird von einer halb ſo langen Saite angegeben. Nehmen wir die Saite $^2/_3$ ſo lang, ſo macht ſie 3 Schwingungen in der Zeit, in welcher die ganze Saite 2 macht, oder $^3/_2$ Schwingungen, während die ganze Saite eine vollendet, und ihr Ton iſt die Quinte G des Grundtones C, eine ebenfalls ſehr vollkommene Conſonanz, indem die 3te, 6te, 9te Schwingung des G mit der 2ten, 4ten, 6ten des C zuſammentrifft. Nehmen wir die Saite $^3/_4$ ſo lang, ſo giebt ſie auch einen mit dem Grundtone gut zuſammenſtimmenden Ton, die Quarte F, und macht $^4/_3$ Schwingungen, während C eine macht, ſo daß die 4te, 8te, 12te Schwingung des F mit der 3ten, 6ten, 9ten des C zuſammentrifft. Eine Saite von $^4/_5$ der urſprünglichen Länge macht 5 Schwingungen, während der Grundton 4 macht, ſie giebt einen ſchon nicht mehr ſo vollkommen conſonirenden Ton, die große Terze E, ſie vervollſtändigt aber den aus lauter Conſonanzen, dem Grundton, der großen Terze und der Quinte, beſtehenden Durdreiklang C E G.

Daß in den übrigen Octaven ebenſo zu dem c die Quinte g u. ſ. w. mit demſelben Verhältniſſe der Schwingungszahlen hinzukommen wird, überſehen Sie leicht, und es beſtände demnach unſre Tonleiter vorläufig aus folgenden Tönen, bei welchen ich zugleich angebe, wie viele Schwingungen und Theile von Schwingungen jeder während einer Schwingung des C vollendet:

C	E	F	G	c	e	f	g	$\bar{c}$	$\bar{e}$	$\bar{f}$	$\bar{g}$	$\bar{\bar{c}}$	$\bar{\bar{e}}$	$\bar{\bar{f}}$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{\bar{c}}}$	u. ſ. w.
1	$5/4$	$4/3$	$3/2$	2	$5/2$	$8/3$	3	4	5	$16/3$	6	8	10	$32/3$	12	16.	

Dieſe Tonleiter leidet noch an dem doppelten Mangel, daß ihre Zwiſchenräume zu ungleich ſind, und daß darin zu keinem andern Ton außer dem Grundtone und ſeinen Octaven der Dreiklang vorhanden iſt. Um in der letztern Beziehung eine Gleichmäßigkeit für alle Töne hervorzubringen, müſſen wir die Quinten und Terzen dieſer Töne, wo ſie noch nicht vorhanden ſind, hinzufügen, und wir fangen dabei am natürlichſten mit den beſten Conſonanzen des Grundtones, nämlich mit G und F an. Soll ein Ton die Quinte von G ſeyn, ſo muß er $3/2$ Schwingungen machen, während G eine macht, alſo $3/2 \times 3/2$ oder $9/4$ Schwingungen, während C eine macht, und von dieſem Ton d, der zwiſchen c und e liegt, macht die tiefere Octave D offenbar halb ſo viele Schwingungen, nämlich $9/8$, während C eine macht. Die Terze von G muß während einer Schwingung deſſelben $5/4$ Schwingungen, alſo während einer Schwingung des C $5/4 \times 3/2$ oder $15/8$ Schwingungen machen; ſie heißt H und liegt zwiſchen G und c. Indem wir ebenſo für F verfahren, erhalten wir deſſen Quinte mit $4/3 \times 3/2$ oder 2 Schwingungen während einer des C, und dieſer Ton iſt offenbar im c ſchon vorhanden; die Terze von F macht $5/4 \times 4/3$ oder $5/3$ Schwingungen, während C eine macht, ſie heißt A und liegt zwiſchen G und H. Wenn ich jeden von dieſen Tönen mit ſeiner Schwingungszahl verſehe, und zwar in der erſten Zeile mit der Zahl der Schwingungen, die während einer des C vollendet werden, in der zweiten Zeile mit der Zahl der Schwingungen, die während einer des D vollendet werden u. ſ. f., ſo iſt bis dahin unſre Tonleiter folgende:

C	D	E	F	G	A	H	c	d	e	f	g	a	h	$\bar{c}$	u. ſ. w.
1	$9/8$	$5/4$	$4/3$	$3/2$	$5/3$	$15/8$	2	$9/4$	$5/2$	$8/3$	3	$10/3$	$15/4$	4	
	1	$10/9$	$32/27$	$4/3$	$40/27$	$5/3$	$16/9$	2	.	.	.	.	.		
		1	$16/15$	$6/5$	$4/3$	$3/2$	$8/5$	$9/5$	2	.	.	.	.		
			1	$9/8$	$5/4$	$45/32$	$3/2$	$27/16$	$15/8$	2	.	.	.		
				1	$10/9$	$5/4$	$4/3$	$3/2$	$5/2$	$16/9$	2	.	.		
					1	$9/8$	$6/5$	$27/50$	$3/2$	$8/5$	$9/5$	2	.		
						1	$16/15$	$6/5$	$4/3$	$64/45$	$8/5$	$16/9$	2		

Dieſe Tonfolge iſt die vollſtändige C dur-Tonleiter, die durch die Aufeinanderfolge ihrer Töne einen angenehmen Eindruck hervorbringt; die Töne aber, aus denen ſie beſteht, ſind, wie das Täfelchen zeigt, keineswegs alle gleich weit von einander entfernt, vielmehr nöthigen ſie uns zur Unterſcheidung ganzer und halber Tonſtufen (Töne), die wieder in große und kleine ganze, in große und kleine halbe Töne zerfallen. Das Intervall von C nach D, dem das Verhältniß der Schwingungszahlen $1 : 9/8$ entſpricht, iſt ein großer ganzer Ton, das Intervall von D nach E ($1 : 10/9$) iſt ein kleiner ganzer Ton, das Intervall von E nach F ($1 : 16/15$) iſt ein großer halber Ton,[1] ſodann folgt ein großer

[1] Die großen und kleinen ganzen Töne unterſcheiden ſich nur um eine Schwingung auf 80, da $9/8 = 81/72$, $10/9 = 80/72$ iſt; dagegen iſt $16/15 = 128/120$ nur um $8/120$ von 1 verſchieden, während $9/8 = 135/120$

ganzer, ein kleiner ganzer, ein großer ganzer, zuletzt ein großer halber Ton, und die eigenthümliche Aufeinanderfolge dieſer ganzen und halben Töne beſtimmt den Character der Dur-Tonleiter.

Das Täfelchen zeigt ferner, daß unter dieſen Tönen immer noch nicht die Dreiklänge für alle Grundtöne enthalten ſind, und beſonders, daß nur für den Grundton C die Dur-Tonleiter darin vorhanden iſt; wollte man nämlich, wie es in den tiefern Zeilen geſchehen iſt, mit einem andern Grundtone anfangen und die Töne der Reihe nach fortſpielen, ſo würden ſie eine andre Abwechſelung der ganzen und halben Töne darbieten, als in der Dur-Tonleiter verlangt wird. Dieß veranlaßt eine weitere Vervollſtändigung der Töne, die darauf hinausgeht, jedem Grundtone auch ſeine Tonleiter zu geben, und bei der wir am beſten mit den Grundtönen G und F anfangen, weil wir deren Dreiklänge ſchon haben. Unſre Töne ſind, auf G als Grundton bezogen, folgende:

G A H c d e f g
1 10/9 5/4 4/3 3/2 5/3 16/9 2,

und hier iſt allerdings, ſo wie wir es in der C dur-Tonleiter angenehm fanden, die Fortſchreitung von G durch A, H eine Fortſchreitung durch zwei ganze Töne, dann folgt ein großer halber Ton bis c, dann folgen bis d, e, zwei ganze Töne, aber nun ſollte ein dritter ganzer Ton und dann erſt zuletzt ein großer halber Ton folgen. Wir ſind daher genöthigt, damit die Dur-Tonleiter ebenſo für G fortſchreite, wie für C, einen Ton zwiſchen f und g einzuſchalten, der um einen großen halben Ton tiefer als g und um einen kleinen[1] halben Ton höher als f liegt; wir nennen ihn fis, und da fis, g
15/8, 2 ſeyn müßten, um ebenſo wie H, c fortzuſchreiten, ſo ſetzen wir unſre vervollſtändigte Tonleiter in Beziehung auf eine Schwingung von C ſo an:

C D E F Fis G A H c d e f fis g
1 9/8 5/4 4/3 45/32 3/2 5/3 15/8 2 9/4 5/2 8/3 45/16 3

oder in Beziehung auf eine Schwingung des G

G A H c d e f fis g
1 10/9 5/4 4/3 3/2 5/3 16/9 15/8 2,

wo ſich ſogleich zeigt, daß G H d der Dur-Accord für G iſt, daß c die obere Quarte zu G iſt, und daß die Tonleiter G, A, H, c, d, e, fis, g faſt genau ſo wie C, D, E, F, G, A, H, c fortſchreitet, mit dem geringen Unterſchiede, der in den großen und kleinen ganzen Ton-Intervallen liegt. In unſrer Anordnung des Notenſchreibens iſt bekanntlich auf den Linien und zwiſchen den Linien nur Raum für die Töne C, D, E, F, G, A, H und ihre Wiederholungen in den andern Octaven; um daher das Fis auszudrücken, wird der Note F ein Kreuz vorgezeichnet, und G dur iſt daher diejenige Tonart, welche

um 15/120 von 1 verſchieden iſt, mithin beträgt das Intervall des großen halben Tones etwas mehr als die Hälfte eines ganzen Tones.

[1] Wenn das Intervall eines ganzen Tones durch das Verhältniß 1 : 9/8, das eines großen halben Tones durch 1 : 16/15 ausgedrückt wird, ſo iſt das für den kleinen halben Ton 135/128, weil 16/15 × 135/128 = 9/8 iſt. Während f 128 Schwingungen macht, macht fis 135, g 144.

ein Kreuz als Vorzeichen hat; dieſes Kreuz zeigt an, daß ſtatt des Tones F ein um einen kleinen halben Ton höherer eingeſchalteter Ton genommen wird, und F ſelbſt kömmt in der Tonleiter von G dur nicht vor.

Auch für die Dur-Tonleiter von F müſſen wir einen Ton einſchalten. Von F nämlich bis G und A ſchreiten wir durch zwei ganze Töne fort, bei denen unſer Ohr die geringe Ungleichheit in den Intervallen nicht bemerkt, aber nun ſoll eine Fortſchreitung durch einen großen halben Ton folgen, und dieſes iſt der Grund, warum wir zwiſchen A und H den halben Ton B einſchalten. Er ſoll um einen großen halben Ton höher als A, alſo um einen kleinen halben Ton tiefer als H ſeyn, und unſre Notenſchreibung zeigt dieß durch ein der Note H vorgeſetztes b, das Zeichen, daß dieſer Ton um einen kleinen halben Ton erniedrigt werden ſoll, an. Mehr Einſchaltungen bedarf F dur nicht, da von B bis c, von c bis d, von d bis e drei Fortſchreitungen durch ganze Töne und endlich von e bis f das Intervall eines großen halben Tones folgt, wie es die Tonleiter fordert. F dur iſt alſo die Tonart, welche in unſern Noten mit einem b bezeichnet iſt, und dieſes Zeichen der Herabſetzung auf einen etwas tiefern Ton ſteht vor der Note h oder H, die dadurch in B übergeht.

So wie wir von C dur, welches gar kein Vorzeichen hat, zur Quinte G, wo ein Kreuz erfordert wurde, fortſchritten, ſo giebt ein zweiter Fortſchritt durch eine Quinte bis d oder D uns eine Tonart, die zwei Kreuze fordert, D dur; denn ſo gut wie ſich für G alle Töne der Tonleiter bis auf einen in der C dur Tonleiter fanden, ſo werden ſich für D alle Töne, bis auf den zunächſt an C liegenden, in der Tonleiter G dur finden. Dieſe Kreuze ſtehen vor F und C oder erhöhen dieſe beiden Noten um einen kleinen halben Ton; denn die Fortſchreitung der Tonleiter fordert von D bis E einen ganzen Ton, von E bis Fis einen ganzen Ton, von Fis bis G einen großen halben Ton, von G bis A, von A bis H ganze Töne, aber nun von H bis zu dem zwiſchen c und d einzuſchaltenden cis einen ganzen Ton, wodurch dann cis bis d ein großer halber Ton wird, weil cis nur um einen kleinen halben Ton von c verſchieden iſt.

Von D noch eine Quinte hinaufwärts fortſchreitend kommen wir an A, und A dur iſt die Tonart, welche drei Kreuze als Vorzeichen hat. F nämlich und C erhalten wieder Kreuze oder die D dur-Tonleiter bleibt, aber auch G erhält ein Kreuz, oder ſtatt der Note G muß das um einen kleinen halben Ton höhere Gis angeſchlagen werden. Die Tonleiter iſt A bis H, H bis Cis, ganze Töne, Cis bis D ein großer halber Ton, D bis E, E bis Fis, Fis bis Gis ganze Töne, Gis bis A ein großer halber Ton. Schritte man nach demſelben Geſetze fort, ſo würde man demnächſt die Tonleitern von e, h, fis, cis u. ſ. w. mit bezüglich 4, 5, 6, 7 Kreuzen erhalten; obgleich aber in der theoretiſchen Muſik alle hierdurch erforderten Töne, nämlich fis, cis, gis, dis, ais, eis, his u. ſ. w. wirklich unterſchieden und beibehalten werden, ſo reichen doch auf Inſtrumenten die fünf erſten derſelben aus, weil eis und his ſehr nahe mit f und c übereinſtimmen und ebenſo die übrigen noch einzuſchaltenden Töne mit ſchon vorhandenen nahe zuſammenfallen würden.

Um die Tonart, die ein b als Vorzeichen forderte, zu erhalten, ſchritten wir von C eine Quarte hinauf bis F, oder was daſſelbe iſt, durch eine Quinte hinab von c bis F. Ich will mich an den letzten Ausdruck halten, weil dann alle Fortgänge von einer Tonart zur nächſten nach Quinten angeordnet ſind, und ſage daher, wenn man von f durch eine Quinte hinabwärts geht, ſo kömmt man auf den Ton B, den wir zwiſchen A und H eingeſchaltet haben. Von B nämlich hinaufwärts iſt c um einen ganzen Ton, d um zwei ganze Töne verſchieden, und d iſt alſo die große Terze zu B, dagegen iſt d, e, f ein Fortſchreiten um anderthalb ganze Töne und f iſt um eine kleine Terze von d, um eine Quinte von B entfernt. B dur iſt die Tonart, die zwei b als Vorzeichen fordert, und zwar vor H, welches zu B erniedrigt wird, und vor E, welches zu Es erniedrigt wird. Geht man von B um eine Quinte hinab, ſo trifft man auf Es, und Es dur hat drei b als Vorzeichen. Dieſe Tonart fordert ebenſo wie A dur einen Ton zwiſchen G und A einzuſchalten, und giebt uns daher Gelegenheit zu bemerken, warum die theoretiſche Muſik einen Unterſchied zwiſchen dem für A dur und dem für Es dur an derſelben Stelle eingeſchalteten Tone macht, indem ſie ihn bei A dur, als erhöhtes G, Gis nennt, bei Es dur, als erniedrigtes A, Aes oder As nennt. Bei A dur war der letzte Schritt der hinaufgehenden Tonleiter von Gis bis A, und dieſer letzte, die Octave vollendende Schritt mußte ein großer halber Ton ſeyn; bei Es dur dagegen haben wir als erſte Fortſchreitungen in der Tonleiter Es bis F, F bis G, als ganze Töne, nun ſoll ein großer halber Ton G bis As folgen, aber G bis Gis wäre nur ein kleiner halber Ton; in aller Strenge genommen, iſt alſo As etwas höher als Gis, As iſt das (durch ein vorgeſetztes b) um einen kleinen halben Ton erniedrigte A, Gis iſt das (durch ein vorgeſetztes Kreuz) um einen kleinen halben Ton erhöhete G. Genau genommen ſollte, wenn die Schwingungen ſo ausgedrückt werden:

C	D	E	F	G	A
1	$9/8$	$5/4$	$4/3$	$3/2$	$5/3$

Gis durch $15/16 \cdot 5/3$, und As durch $16/15 \cdot 3/2$ als Zahl der Schwingungen ausgedrückt werden, dieß gäbe Gis $25/16 = 125/80$; As $8/5 = 128/80$, alſo auf 128 Schwingungen einen Unterſchied von 3 Schwingungen, ſo daß, während C 80 Schwingungen macht, Gis 125, As 128 Schwingungen machen ſollte. Mit 120 Schwingungen des G ſollen 125 des Gis, 128 Schwingungen des As und $133^1/_3$ des A zuſammentreffen.

Geht man von Es durch Quinten immer tiefer, ſo kömmt man auf die Tonarten As, Des, Ges, Ces mit bezüglich 4, 5, 6, 7 b. Auch hier ſtimmen von Ces an die Töne ſo nahe mit ſchon vorhandenen überein, daß ſie nur ſchriftlich von denſelben unterſchieden werden; außerdem gilt für die Töne B, Es, As, Des, Ges, die nahe mit Ais, Dis, Gis, Cis, Fis übereinſtimmen, daſſelbe, was für As und Gis beiſpielsweiſe erörtert iſt, weswegen ſie auf Inſtrumenten mit unveränderlichen Saiten nicht unterſchieden werden.

Zugleich erhellt hieraus, daß die Tonarten Cis und Des auf den meiſten Inſtrumenten nicht unterſchieden werden können, und da ſich ebenſo für jede Tonart mit mehr als 6 Kreuzen eine übereinſtimmende mit wenigeren b findet und umgekehrt, ſo pflegt man nie mehr als 6 Kreuze oder b vorzuzeichnen, ſondern erforderlichen Falles durch die ſogenannte enharmoniſche Verwechſelung aus der Kreuz-Tonart in die entſprechende b-Tonart überzugehen. Zwiſchen den verſchiedenen Tonarten iſt, obgleich ſie im Allgemeinen übereinſtimmen, offenbar doch in der Hinſicht ein Unterſchied, daß die kleinen und großen ganzen Töne verſchieden mit einander abwechſeln, daher kommt es, daß man den einzelnen Tonarten einen verſchiedenen Character, nämlich den b-Tonarten einen mit der Anzahl der b wachſend dumpferen Eindruck zuſchreibt, eine Verſchiedenheit, die, wo es die Stimmung der Inſtrumente geſtattet, von geübten Ohren wohl empfunden wird. In Beziehung auf die Verwandtſchaft der Tonarten geht wenigſtens ſo viel aus Vorſtehendem hervor, daß diejenigen Tonarten am meiſten Uebereinſtimmendes enthalten, alſo am nächſten verwandt ſind, die ſich am wenigſten durch Vorzeichen unterſcheiden.

Die Moll-Tonleiter.

Da dieſe Betrachtungen aus der theoretiſchen Muſik für jeden, der ſich irgend mit Muſik beſchäftigt, Intereſſe haben, ſo muß ich doch auch noch ein Wort über die Moll-Tonleitern und über die mit jedem Dur-Ton verwandte Moll-Tonart ſagen.

Wenn man von einem Grundtone ſo fortſchreitet, daß man, um den Haupt-Accord zu bilden, die große Terze mit der Quinte und dem Grundtone zuſammen nimmt, ſo machen dieſe Töne gleichzeitig 4,5 und 6 Schwingungen, der Grundton nämlich 4, während der ihm als große Terze angehörende 5, der ihm als Quinte angehörende 6 macht. Hier geht man vom Grundtone zuerſt durch eine große Terze, und hierauf durch eine kleine Terze[1] zur Quinte fort. Wenn man eben dieſe Intervalle einer kleinen und großen Terze in umgekehrter Ordnung auf einander folgen läßt, ſo hat man den Moll-Accord, in welchem die Verhältniſſe der drei Schwingungszeiten weniger einfach ausgedrückt ſind und der dem Ohre nicht ganz ſo angenehm, als der Dur-Accord iſt. Für C würde der Moll-Accord aus

C	Es	G
1	$^6/_5$	$^3/_2$

zuſammengeſetzt ſeyn; denn $E = {}^5/_4$ um einen kleinen halben Ton erniedrigt giebt die Schwingungszahl $= {}^5/_4 \cdot {}^{24}/_{25} = {}^6/_5$ für Es, oder D um einen großen halben Ton erhöht giebt $Es = {}^9/_8 \cdot {}^{16}/_{15} = {}^6/_5$.

Will man die Moll-Tonleiter vervollſtändigen, ſo giebt man der Quinte ihren Moll-Accord und der Quarte ihren Moll-Accord. In der für C dur

[1] Die kleine Terze iſt das Intervall zweier Töne, deren Schwingungszahlen ſich wie 5 zu 6 verhalten.

angegebnen Tonleiter finden ſich alle dazu nöthigen Töne, wenn wir von dem Grundtone A anfangen; da nämlich iſt c die kleine Terze, e die Quinte, d die Quarte zu A; aber e g h bildet den Moll=Accord der Quinte, d F a den Moll=Accord der Quarte. Wir hatten nämlich die Schwingungszeiten.

C	D	E	F	G	A	H	c	d	e	f	g	a
I	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2	9/4	5/2	8/3	3	10/2

alſo kommen auf eine Schwingung des A

A	H	c	d	e	f	g	a	h
I	9/8	6/5	27/20 (beinahe = 4/3)	3/2	8/5	9/5	2	9/4

wo e fünfmal ſchwingt, während g 6 mal ſchwingt, alſo g die kleine Terze zu e iſt, h aber die Quinte zu e, indem auf jede Schwingung des e anderthalb des h kommen. Der Ton d iſt die Quarte zu A, denn obgleich das Verhältniß 4/3 eigentlich forderte, daß 28 Schwingungen des d mit 21 Schwingungen des A zuſammengehörten, ſo iſt doch dieß von 27 zu 20 gehörigen nicht allzu merklich verſchieden, und wenn bei d 4/3 ſtatt 27/20 geſetzt wird, ſo würde f genau 6 Schwingungen machen, während d 5 macht.

Da auf dieſe Weiſe die Tonleiter A moll ganz in eben den Tönen liegt, wie C dur, ſo ſind dieſe Tonarten verwandt und haben beide kein Vorzeichen in unſern Noten. Und ebenſo hat immer die um eine kleine Terze tiefere Moll=Tonart eben die Vorzeichen wie die um ſoviel höhere Dur=Tonart.[1] In der Tonleiter D dur zum Beiſpiel iſt

D Fis A der Dur=Accord,

A, cis, e der Dur=Accord der Quinte, G die Quarte und G H d ihr Dur=Accord, alſo D E Fis G A H cis d die Dur=Tonleiter für D. Gehe ich eine kleine Terze von d herab zu H, ſo iſt H d fis der Moll=Accord, fis a cis, der Moll=Accord der Quinte fis, e die Quarte und e g h ihr Moll=Accord; alſo auch hier

H cis d e fis g a h

die aus eben den Tönen hergenommene Moll=Tonleiter für H.

Da dieß in allen ähnlichen Fällen ebenſo ſtatt findet, ſo folgt daraus, daß es für jede Tonart fünf andre giebt, die ſich nur um ein Vorzeichen oder um gar keins von ihr unterſcheiden und daher alle fünf mit ihr nahe verwandt ſind, nämlich für C dur, die Moll=Tonart ohne Vorzeichen A moll, die Dur=Tonart mit einem Kreuz G dur, die Moll=Tonart mit einem Kreuz E moll, die Dur=Tonart mit einem b B dur, die Moll=Tonart mit einem b G moll.

Dieſe auf Gründen der Acuſtik beruhende Verwandtſchaft der Tonarten giebt für die ſtrenge Muſik die Norm ab, nach welcher die Uebergänge aus

[1] Daß bei der Moll=Tonleiter einige andre zufällige Ton=Erhöhungen vorkommen, iſt ein Umſtand, der hier wohl nicht weiter erörtert werden kann.

einer Tonart in die andere ſorgfältig gerregelt werden, auch läßt ſich wohl aus der Theorie ableiten, warum grade die beiden Dreiklänge die meiſte Befriedigung gewähren und warum alſo einer von ihnen nothwendig den Schluß jedes muſicaliſchen Satzes bilden muß. Alle übrigen Regeln, denen die Muſik ihre wunderbare Wirkung verdankt, und die ſich auf den zweckmäßigen Wechſel von Diſſonanzen und Conſonanzen, auf die verſchiedene Anordnung der Töne deſſelben Accordes, auf die Führung der einzelnen Stimmen, auf Melodie und Rhythmus, auf Ausführung und Wiederholung einzelner Sätze beziehen, ſind empiriſch aus dem Erfolge hergeleitet und mehr oder minder der ſchöpferiſchen Kraft des Einzelnen unterworfen.

Einundzwanzigſte Vorleſung.

Die Temperatur.

Die in der vorigen Vorleſung abgeleiteten theoretiſchen Beſtimmungen für die einzelnen Töne, fordern bei ihrer practiſchen Anwendung eine kleine Abänderung, die von den Muſikern **Temperatur** genannt wird und deren Erwägung ganz der rechnenden Acuſtik angehört.

Wir haben bisher ſoviel als möglich immer uns an die Verhältniſſe gehalten, die von dem erſten Grundtone C abgeleitet waren, und haben die kleinen Abweichungen, die dann bei den Conſonanzen andrer Töne ſtatt fanden, nur obenhin bemerkt; dieſe Abweichungen verdienen aber doch genauer erwogen zu werden. Wenn man von C durch zwei ganze Töne zur großen Terze E fortſchreitet, ſo ſchwingt E $^5/_4$ mal, während C einmal ſchwingt; ebenſo ſollte bei abermaligem Fortſchreiten durch zwei ganze Töne von E bis Gis oder As dieſes letztere $^5/_4$ Schwingungen mit einer Schwingung des E, alſo $^{25}/_{16}$ Schwingungen mit einer des C gleichzeitig vollenden, und wenn man von Gis oder As durch zwei ganze Töne bis c fortſchritte, ſo ſollte c $^5/_4$ mit Gis 1, oder c $^{25}/_{16}$ mit E 1, oder c $^{125}/_{64}$ Schwingungen mit C 1, mit einer Schwingung des C gleichzeitig ſeyn. Aber damit die Octave rein ſey, muß c 2 Schwingungen $= {}^{128}/_{64}$ vollenden, während C eine vollendet, und es iſt daher unmöglich, drei reine große Terzen zu erhalten, ohne am Ende derſelben die Octave um $^3/_{64}$ zu verfehlen; dennoch muß die letzte dieſer drei Terzen, da ſie in vielen Tonarten gebraucht wird, mit c übereinſtimmen, wenn wir nicht neben c noch einen wenig davon verſchiedenen Ton His anbringen wollen. Ebenſo würden vier kleine Terzen, wenn ſie ganz rein ſeyn, nämlich immer im Verhältniß $^6/_5$ der Schwingungszahl fortgehen ſollten, am Ende zu keiner reinen Octave führen; nämlich nach der kleinen Terze müßte ſeyn

C	Es	Fis oder Ges	A	c
1	$^6/_5$	$^{36}/_{25}$	$^{216}/_{125}$	$^{1296}/_{625}$

und das ſo beſtimmte c weicht um $^{46}/_{625}$ vom richtigen, der Octave gemäßen c ab, das heißt, das als reine Octave eingeſtimmte c würde 2 Schwingungen machen, während das nach dem Fortgange von 4 reinen kleinen Terzen eingeſtimmte c $^{1296}/_{625}$ Schwingungen machte, oder jenes 1250 Schwingungen, während dieſes 1296, jenes 625, während dieſes 648. Die aus vier kleinen Terzen zuſammengeſetzte Octave iſt alſo um $^{648}/_{625}$ zu hoch, ſo wie die aus drei großen Terzen zuſammengeſetzte Octave zu tief war. Jene Abweichung heißt die größere Dieſis, dieſe die kleinere Dieſis.

Eine ähnliche Abweichung ergiebt der Fortgang durch reine Quinten. Um ſie zu bezeichnen, muß ich Sie daran erinnern, daß man die Töne in den höhern Octaven mit mehrern Strichen zu bezeichnen pflegt; die tiefſte Discant-Octave iſt die, wo man die Töne eingeſtrichene, $\overline{c}$, $\overline{d}$ u. ſ. w. nennt, die nächſt höhere die zweigeſtrichene $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{d}}$ und ſo ferner. Gehen wir alſo nach Quinten von C aus fort, und nehmen an, daß jeder folgende Ton (wobei ich Fis und Ges als einerlei anſehe) nach reinen Quinten geſtimmt ſeyn, das heißt, jeder nächſt höhere anderthalb Schwingungen machen ſollte, während der nächſt tiefere eine macht, ſo erhielten wir

C	G	d	a	$\overline{e}$	$\overline{h}$	$\overline{\overline{fis}}$	$\overline{\overline{\overline{des}}}$	$\overline{\overline{\overline{as}}}$
1	$^{3}/_{2}$	$^{9}/_{4}$	$^{27}/_{8}$	$^{81}/_{16}$	$^{243}/_{32}$	$^{729}/_{64}$	$^{2187}/_{128}$	$^{6561}/_{256}$

$\overline{\overline{\overline{\overline{es}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{b}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}$
$^{19683}/_{512}$	$^{59049}/_{1024}$	$^{177147}/_{2048}$	$^{531441}/_{4096}$

Nach den Octaven ſollten die Schwingungen ſeyn

C	c	$\overline{c}$	$\overline{\overline{c}}$	$\overline{\overline{\overline{c}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}}$
1	2	4	8	16	32	64	128 $= ^{524288}/_{4096}$,

die reinen Quinten geben alſo beinahe auf 524 Schwingungen 7 zu viel, oder geben genau eine um $^{531441}/_{524288}$ zu hohe Stimmung, und dieſe Abweichung heißt das Pythagoriſche Comma.

Dieſe Unterſchiede liegen nicht in etwas Zufälligem unſrer Tonleiter oder in irgend etwas Willkürlichem, ſondern ſie liegen darin, daß weder $^{5}/_{4}$ immer mit ſich ſelbſt multiplicirt, noch $^{6}/_{5}$ immer mit ſich ſelbſt multiplicirt, noch $^{3}/_{2}$ immer mit ſich ſelbſt multiplicirt je eine ganze Zahl geben kann. Keine Tonleiter kann alſo, wenn man die Octave rein erhalten will, einen ganz reinen Fortgang in lauter Terzen oder Quinten geſtatten, und da die Reinheit der Octaven unſtreitig das Wichtigſte iſt, ſo muß man alle zwiſchenliegenden Töne ein wenig modificiren, damit die nicht ſtreng rein zu erhaltenden Intervalle möglichſt wenig von der Reinheit abweichen. Die Muſiker nennen dieß: der Ton müſſe ein wenig oberhalb oder ein wenig unterhalb ſchweben, und darin eben beſteht die Temperatur. Man kann bei dieſer Temperatur verſchiedene Grundſätze befolgen; bei der natürlichſten oder der ſogenannten gleichſchwebenden Temperatur iſt die Austheilung ſo, daß die Schwingungs-

zahl von C zu der von Cis in eben dem Verhältniß ſteht, wie von Cis zu D und ſo ferner; ich ſetze hier die gleichzeitigen Schwingungszahlen für 100000 Schwingungen des c her, und ſetze bei der C dur Tonleiter daneben, was die oben angegebenen einfachen Verhältniſſe fordern würden.

Töne	Gleichſchwebende Temp.	Urſprüngl. Verh.
c	100000	100000
cis	105946	
d	112246	112500 = $^9/_8$. 100000
dis	118921	
e	125992	125000 = $^5/_4$. 100000
f	133484	133333 = $^4/_3$. 100000
fis	141421	
g	149831	150000 = $^3/_2$. 100000
gis	158740	
a	168179	166666 = $^5/_3$. 100000
b	178180	
h	188775	187500 = $^{15}/_8$. 100000
$\overline{\text{c}}$	200000	200000.

Es muß alſo die Quinte g ein wenig hinabwärts, die große Terze c ein wenig hinaufwärts, ſchweben und ſo bei den übrigen Tönen. Unſer Ohr, und ſelbſt, nach dem Urtheil der Kenner, das geübteſte muſicaliſche Ohr findet in dieſen kleinen Abweichungen nichts Unangenehmes; und es iſt allerdings ein Glück, daß unſer, für jene Zahlenverhältniſſe feines Ohr, dem das oft wiederkehrende Zuſammentreffen zweier Schwingungen eine angenehme Empfindung erregt, nicht noch feiner iſt, um durch ſo kleine Abweichungen verletzt zu werden, denn ſonſt würde es unmöglich ſein, das ſo ſtrenge Anforderungen machende Ohr zu befriedigen.

Stöße nahe übereinſtimmender Töne.

Mit dem ſeltenern oder häufigern Zuſammentreffen der Schwingungen zweier Töne hängt noch eine Erſcheinung zuſammen, die für die Wiſſenſchaft eine größere Wichtigkeit erlangt hat, als es anfangs möglich ſchien, nämlich das abwechſelnde Anſchwellen und Sinken des Tones, das man häufig hört, wenn zwei Töne zuſammen klingen, die in ihrer Stimmung ſo wenig verſchieden ſind, daß die Verſchiedenheit nicht unmittelbar wahrgenommen wird. Man nennt dieſe Anſchwellungen Stöße und kann über ihre Geſchwindigkeit ſehr wohl Rechenſchaft geben, wenn bekannt iſt, wie ſchnell die Schwingungen der beiden Töne aufeinanderfolgen. Denken wir uns zwei Töne durch Saiten hervorgebracht, ſo daß die eine in $^1/_4$ Secunde 4 volle Schwingungen (d. h. 4 vollſtändige Hin- und Hergänge, Doppelſchwingungen) vollendet, während die andre in derſelben Zeit 5 Schwingungen macht, ſo werden irgendeinmal beide Saiten zugleich einen ähnlichen Punkt ihrer Bahn erreichen und eine gemeinſchaftliche, daher verſtärkte Wirkung hervorbringen, von dem Augenblicke

an aber wird die ſchneller ſchwingende Saite vorauseilen, nach $^1/_8$ Secunde werden ſich beide um eine halbe Schwingung unterſcheiden, ſich alſo an grade entgegengeſetzten Punkten ihrer Bahn befinden und ihre Wirkung gegenſeitig ſchwächen, nach $^1/_4$ Secunde werden ſie wieder genau übereinſtimmend wirken, da ſie ſich jetzt um eine volle Schwingung unterſcheiden; ſo wird alſo nach jeder $^1/_4$ Secunde ein vorzüglich gutes Zuſammenwirken, ein Stoß erfolgen, während vor- und nachher die Wirkung allmälig anſchwillt und nachläßt. So wie in dieſem Falle 4 Stöße in einer Secunde erfolgen müßten, ſo findet man deren Anzahl immer, wenn man die Anzahlen der vollen Schwingungen beider Töne von einander ſubtrahirt, und man kann ſich dieß noch dadurch verdeutlichen, daß man das Hin- und Hergehen der Saiten mit dem Steigen und Fallen von Wellenlinien vergleicht und nun unterſucht, wie oft im gegebenen Falle ähnliche Theile der Wellen zuſammentreffen. Fig. 27^a (auf Tafel I.) ſtellt in der erſten Reihe 9, in der zweiten 8, in der dritten 12 zugleich vollendete Schwingungen dar, wenn man alſo vom Zuſammentreffen der Wellengipfel am Anfange abſieht, ſo findet außerdem zwiſchen der erſten und zweiten Reihe nur einmal, zwiſchen der erſten und dritten dreimal, zwiſchen der zweiten und dritten viermal ein ſolches ſtatt. Die Erfahrung zeigt, daß dieſelbe Regel für die Berechnung der Stöße auch dann gilt, wenn die zuſammentreffenden ähnlichen Wellentheile nicht grade immer dieſelben, z. B. nicht immer Wellengipfel wie im vorigen Falle ſind, und ein Fall dieſer Art würde eintreten, wenn von der einen Saite 8, von der adern 5 Schwingungen in gleicher Zeit vollendet würden (I. Fig. 27^b); es würden dann in derſelben Zeit 3 Stöße erfolgen.

Unter den intereſſanten Anwendungen, die Scheibler von dieſen Stößen gemacht hat, will ich zuerſt diejenigen erwähnen, die zu einer äußerſt genauen Stimmung der Töne führen. Man kann durch ſorgfältiges Ausfeilen zwei Stimmgabeln ſo reguliren, daß ſie zuſammentönend genau 4 Stöße in einer Secunde geben, wenn alſo die tiefere Gabel den Ton $\overline{a}$ giebt, ſo giebt die höhere, die ich die Hülfsgabel nennen will, einen unmerklich höhern Ton, zu dem 4 volle Schwingungen mehr in der Secunde gehören. Soll nun irgend ein andrer tönender Körper, z. B. eine Saite ſo geſtimmt werden, daß ſie genau den Ton $\overline{a}$ giebt, ſo muß man von tiefen Tönen anfangend ſie ſo lange anſpannen, bis ſie mit der zugleich angeſchlagenen Hülfsgabel Stöße giebt, die deſto langſamer werden, je mehr man vorſichtig die Saite ſpannt; bringt man es nun dahin, daß grade 4 ſolche Stöße in einer Secunde erfolgen, ſo muß die Saite 4 volle Schwingungen weniger als die Hülfsgabel machen, mithin den Ton $\overline{a}$ geben, und zwar mit einer anders nicht zu erreichenden Genauigkeit, die bis zu geringen Theilen einer einzelnen Schwingung geht.

Eine andere, für die Wiſſenſchaft beſonders wichtige Anwendung iſt die zur Beſtimmung der abſoluten Schwingungsmenge irgend eines Tones. Nachdem das Geſetz erfahrungsmäßig abgeleitet war, daß die Anzahl der Stöße mit dem Unterſchiede der Doppelſchwingungen beider Töne übereinſtimmt,

folgte daraus, daß ſich der Unterſchied der Schwingungszahlen auch bei weit entfernten Tönen würde finden laſſen, wenn man eine Anzahl von Zwiſchentönen einſchaltete, von denen jeder mit dem nächſtfolgenden zählbare Stöße gäbe. Wenn z. B. drei Stimmgabeln ſo abgeglichen ſind, daß die zweite in einer Secunde 3 Schwingungen mehr als die erſte, die dritte 4 Schwingungen mehr als die zweite vollendet, ſo geben die erſte und zweite 3 Stöße, die zweite und dritte 4 Stöße, und die erſte und dritte müſſen 7 Stöße geben. Ebenſo würde allgemein bei beliebig geſtimmten Gabeln, wenn ihre Stöße auch zu ſchnell ſind, um gezählt zu werden, doch der Unterſchied der Schwingungszahlen gleich der Summe der in einer Secunde ſtattfindenden Stöße aller Zwiſchengabeln ſeyn. Dieſen Satz wendete Scheibler auf folgende Art an. Er verfertigte 50 auf einander folgende Gabeln, von denen die äußerſten a und $\overline{a}$ angaben, die übrigen aber möglichſt gleichmäßig über die ganze Octave vertheilt waren und einander darum ſo nahe kamen, daß jede mit der nächſtfolgenden Stöße gab. Dieſe Gabeln wurden vor Erwärmung und andern fremden Einflüſſen auf das ſorgfältigſte geſchützt, durch Schlagen mit Hämmern zum Tönen gebracht und immer von je zwei auf einander folgenden die Stöße gezählt, indem auf einem ſehr genau gearbeiteten Metronom das Gewicht ſo geſchoben wurde, daß genau 4 Stöße während eines Pendelſchlages erfolgten. Da nun das Metronom angab, dem wievielſten Theile einer Minute dieſe Pendelſchwingung entſprach, ſo konnte daraus leicht berechnet werden, wie viele Stöße und Theile von Stößen in einer Secunde erfolgten. Die Summe der Stöße aller einzelnen 49 Paare von Gabeln zwiſchen a und $\overline{a}$ ergab ſich nun gleich 219,67, alſo machte $\overline{a}$ 219,67 volle Schwingungen in einer Secunde mehr als a, und da wir wiſſen, daß $\overline{a}$ genau doppelt ſo viele Schwingungen vollenden muß als a, ſo folgt daraus, daß a ebenſoviele Schwingungen machen muß als der Unterſchied beträgt, daß alſo a in einer Secunde 219,67, $\overline{a}$ 439,33 volle Schwingungen vollendet. Scheibler hat auf dieſelbe Art Stimmgabeln geprüft, die er ſich von den Orcheſtern aus Paris, Wien und Berlin hatte kommen laſſen, wobei ſich fand, daß die Schwingungszahlen dieſer $\overline{a}$-Gabeln zwiſchen 427 und 445 ſchwankten; um nun eine Uebereinſtimmung hierin zu erlangen, iſt man ſeitdem übereingekommen, das $\overline{a}$ auf 440 volle Schwingungen in der Secunde feſtzuſetzen, wonach bei gleichſchwebender Temperatur die abſoluten Schwingungsmengen aller Töne zwiſchen a und $\overline{a}$ ſeyn würden:

220,0.	233,1.	246,9.	261,6.	277,2.	293,7.	311,1.	329,6.	349,2.	370,0.	392,0.	415,3.	440,0.
a	ais	h	$\overline{c}$	$\overline{cis}$	$\overline{d}$	$\overline{dis}$	$\overline{e}$	$\overline{f}$	$\overline{fis}$	$\overline{g}$	$\overline{gis}$	$\overline{a}$

Combinationstöne.

Wir hatten ſchon Gelegenheit zu bemerken, daß bei Tönen, die ziemlich weit von einander abſtehen, die Stöße ihrer ſchnellen Aufeinanderfolge wegen nicht mehr unterſcheidbar ſeyn können, und ſo wie aus allen regelmäßig und ſchnell genug aufeinanderfolgenden Impulſen der Eindruck eines Tones entſteht,

ſo iſt dieß auch bei dieſen Stößen der Fall, ſobald ſie nicht mehr einzeln aufgefaßt werden können. Unter günſtigen Umſtänden entſteht alſo durch das Zuſammenklingen zweier Töne aus deren Stößen ein dritter Ton, ein ſogenannter Combinationston (Tartiniſcher Ton), der mit den beiden erzeugenden Tönen zugleich gehört wird. Die Combinationstöne, ſo wie die Stöße laſſen ſich beſonders bei langgehaltenen Tönen, wie ſie die Orgel, manche Blasinſtrumente und auch die Violine geben, gut beobachten, und die Höhe der erſteren kann aus den Schwingungszahlen der beiden erzeugenden Töne nach demſelben Geſetze berechnet werden, das für die Stöße gilt. Läßt man $\bar{a}$ und $\bar{c}$ zuſammentönen, ſo iſt, wenn wir die Schwingungszahlen des vorſtehenden Täfelchens anwenden, der Unterſchied beider gleich 178, ſo viele Stöße erfolgen alſo in einer Secunde und geben den Ton, der durch 178 volle Schwingungen in einer Secunde entſteht, das iſt f. Jeder Combinationston kann, wenn er ſtark genug hervortritt, wieder mit den erzeugenden Tönen Stöße und neue Combinationstöne hervorbringen. Wenn z. B. der Ton a von 220 Schwingungen mit einem andern von 444 Schwingungen zuſammen angegeben wird, der ſich alſo von $\bar{a}$ nur um 4 Schwingungen unterſcheidet, ſo muß ein Combinationston von 224 Schwingungen entſtehen, der ſich alſo durch das Gehör nicht von a unterſcheiden läßt, aber ebendeswegen 4 Stöße mit dem erzeugenden Tone a macht; dieſe Stöße einer nicht ganz rein geſtimmten Octave haben Scheibler das Mittel an die Hand gegeben, bei ſeinen erwähnten Unterſuchungen das Intervall der Octave, auf welches ſich das Uebrige gründete, vollkommen genau zu erhalten. Die folgenden Combinationstöne, die hervorgehen, wenn der erſte Combinationston mit einem der erzeugenden Töne hinreichend ſchnelle und ſtarke Stöße giebt, machen eine Unterſcheidung der Combinationstöne erſten, zweiten, dritten Grades u. ſ. w. erforderlich, wovon ich folgendes Beiſpiel anführen will. Geſetzt, der Ton $\bar{h}$ mit 494 vollen Schwingungen werde zugleich mit dem Tone $\overline{\overline{\overline{e}}}$ mit 1318 Schwingungen angegeben, ſo iſt der Combinationston erſten Grades ein Ton von 824 Schwingungen d. i. $\overline{\overline{gis}}$, dieſer bringt mit $\bar{h}$ einen Combinationston zweiten Grades von 330 Schwingungen ($\bar{e}$) und mit $\overline{\overline{\overline{e}}}$ einen Combinationston zweiten Grades von 494 Schwingungen ($\bar{h}$) hervor. Durch den Combinationston zweiten Grades $\bar{e}$ und durch den erzeugenden Ton $\overline{\overline{\overline{e}}}$ entſteht ein Combinationston dritten Grades von 988 Schwingungen ($\overline{\overline{h}}$). Durch denſelben Ton $\bar{e}$ mit dem andern erzeugenden Tone $\bar{h}$ entſteht ein Combinationston dritten Grades von 164 Schwingungen (e) u. ſ. w. Hällſtröm, der am vollſtändigſten das eben entwickelte Erklärungsprincip mit der Erfahrung verglichen hat, hat in dem zuletzt angeführten Falle auf einer Violine die beiden Combinationstöne $\bar{e}$ und e deutlich wahrgenommen, überhaupt aber gefunden, daß nicht immer die erſten Combinationstöne am beſten gehört werden, wiewohl freilich im

Allgemeinen die Töne deſto ſchwächer werden, durch je complicirtere Combinationen ſie entſtehen.

Unter manchen Zweifeln, wozu immer noch dieſe Theorie der Stöße und Combinationstöne Veranlaſſung giebt, will ich nur einen von Savart angeregten erwähnen. Savart machte nämlich die Beobachtung, daß zwei ſchwingende Körper, die durch feſte Körper in naher Verbindung ſind, z. B. zwei Pendel, die an einem Geſtell hängen, auf ihre Schwingungen gegenſeitig einen Einfluß ausüben, wodurch dieſe Schwingungen abwechſelnd ſtärker und ſchwächer werden. Aehnliches findet nach Savart's Beobachtungen auch bei tönenden Körpern und zwar in ſolchem Grade ſtatt, daß man in vielen Fällen das periodiſche Wachſen und Abnehmen der Schwingungen ſchon mit den Augen erkennen kann; demzufolge entſtänden alſo die Stöße ſchon in den tönenden Körpern ſelbſt. Daß ſich hieraus nicht etwa immer die Stöße erklären laſſen, geht aus Scheibler's Verſuchen hervor, wo die tönenden Stimmgabeln faſt nur durch die Luft in Verbindung ſtanden, ferner zeigt dieß ein Verſuch mit zwei an einem Stabe befeſtigten Stimmgabeln. Man hört hier die Stöße nur, wenn ſich das Ohr beiden Gabeln zugleich nahe genug befindet, um ihre Töne zu hören; nach Savart hingegen müßte man die Stöße hören, wenn man auch das Ohr in eine Stellung brächte, wo nur der Ton der einen Gabel hörbar iſt, weil die Stöße ſeiner Anſicht nach ſchon in den Schwingungen der tönenden Körper ſelbſt bedingt ſind.

Töne der Sirene und gezähnter Räder.

Die Anwendung der Stöße zur Beſtimmung der abſoluten Schwingungszahlen veranlaßt mich, hier ein Inſtrument zu beſchreiben, durch welches derſelbe Zweck auf eine weſentlich verſchiedene Art erreicht wird, nämlich die von Cagniard de Latour angegebene Sirene. Sie beſteht in ihrer einfachſten Geſtalt (V. Fig. 13) aus einer drehbaren Scheibe, auf welcher ſich in gleichen Abſtänden von einander Löcher ringförmig um den Mittelpunkt vertheilt befinden. Während die Scheibe ſich um ihren Mittelpunkt dreht, wird durch ein Rohr dagegen geblaſen, ſo daß der Luftſtrom, indem er bald unterbrochen wird, bald frei durch eins von den Löchern hindurchgeht, regelmäßige Stöße hervorbringt, die bei hinreichend ſchneller Drehung der Scheibe einen Ton erzeugen. Bei vollkommenen Inſtrumenten ſtehen ſich zwei mit gleich vielen Löchern verſehene Scheiben gegenüber; die eine iſt feſt, die andre um ihren Mittelpunkt drehbar, und bei letzterer ſind die Löcher ſchief in einer gegen den Radius ſenkrechten Richtung hindurchgebohrt. Wird nun gegen letztere Scheibe geblaſen, ſo geräth ſie durch den Luftſtrom ſelbſt, der die ſchiefen Wände der Oeffnungen trifft, in Umdrehung; der Luftſtrom kann aber nur dann frei hindurchgehen, wenn grade die Oeffnungen beider Scheiben einander gegenüberſtehen, hat alſo die Scheibe 24 Oeffnungen und macht in einer Secunde 12 Umläufe, ſo erfolgen 288 Unterbrechungen des Luftſtromes und damit entſteht ein Ton von 288 vollen Schwingungen in einer Secunde. Die Umläufe der Scheibe

werden durch ein mit der Axe in Verbindung ſtehendes Zeigerwerk gezählt, und um durch dieſes Inſtrument die Schwingungszahl eines Tones zu beſtimmen, braucht man nur den Luftſtrom ſo zu reguliren, daß die Sirene genau dieſen Ton giebt, das Product aus der Anzahl der Löcher in die Anzahl der Umdrehungen giebt dann an, wie viele volle Schwingungen während der Dauer der Beobachtung ſtatt fanden.

Zu demſelben Zwecke kann nach Savart's Vorgange ein gezähntes Rad angewandt werden, an deſſen Zähne man, wenn es ſich in ſchneller Umdrehung befindet, einen biegſamen Körper, z. B. ein Kartenblatt hält; auch hier bekommt man einen Ton von ſo vielen vollen Schwingungen in einer Secunde als Zähne in einer Secunde vorübergingen, und man kann mit Hülfe dieſes Inſtrumentes noch zur Beantwortung anderer für die Entſtehung der Töne wichtiger Fragen gelangen. So fand Savart, daß ſchon bei 8 Stößen in einer Secunde, wenn jeder einzelne nicht gar zu ſchnell vorüberging, ein ſehr tiefer, ſo eben unterſcheidbarer Ton entſtand, während andererſeits noch durch ungefähr 24000 ſehr kurze und ſtarke Stöße in einer Secunde die höchſten unterſcheidbaren Töne hervorgebracht wurden,[1] ferner, daß ſchon zwei Stöße durch ihre Aufeinanderfolge den Ton beſtimmten, indem man alle Zähne des Rades bis auf zwei benachbarte wegnehmen und doch den Ton unterſcheiden konnte. Wenn man eine Sirene oder ein Zahnrad ſo conſtruirt, daß auf demſelben Kreisumfange Löcher für Grundton, Terze und Quinte zugleich in den jedem Tone entſprechenden Abſtänden angebracht ſind, ſo bilden dieſe Löcher für das Auge eine höchſt unregelmäßige Aufeinanderfolge, dennoch entſtehen beim Hindurchblaſen oder beim Anhalten eines Kartenblattes drei geſonderte, für das Ohr ſehr wohl unterſcheidbare Töne, und es hat alſo das Ohr die bewundernswürdige Fähigkeit, die einzelnen Syſteme gleichmäßig aufeinanderfolgender Stöße zu trennen und geſondert aufzufaſſen.

Interferenz von Tönen.

Noch eine Erſcheinung, die aus dem Zuſammentreffen zweier Syſteme von Schallſchwingungen entſpringt, kann vorzüglich an der Sirene nachgewieſen werden. Wenn man gegen zwei benachbarte Löcher derſelben einen Luftſtrom von entgegengeſetzten Seiten richtet, ſo ſollte man erwarten, daß durch beide derſelbe Ton hervorgebracht werden würde; es wird aber gar kein deutlicher Ton gehört, weil die Luftbewegungen, die zu gleicher Zeit in den beiden Löchern erregt werden, grade entgegengeſetzt ſind und ſich daher bei ihrer weiteren Verbreitung gegenſeitig aufheben. Eine ſolche gegenſeitige Aufhebung (Interferenz) zweier gleichen Töne wird noch unter andern Umſtänden beſonders auch dann beobachtet, wenn die beiden interferirenden Töne von verſchiedenen Theilen eines und deſſelben tönenden Körpers ausgehen. So hört man den

[1] Die muſicaliſch brauchbaren Töne ſind in engere Gränzen eingeſchloſſen. Der tiefſte derſelben, das ſogenannte 32füßige C, macht 16, der höchſte, das ſechsgeſtrichene c, macht etwa 8200 volle Schwingungen in der Secunde. Schon die Töne über dem fünfgeſtrichenen c können kaum mehr angewandt werden.

Ton einer Glocke verhältnißmäßig ſchwach, wenn man das Ohr der Mitte der Höhlung gegenüberhält, viel ſtärker, wenn man es von außen der Fläche der Glocke nähert, beſonders aber dienen die Töne der Stimmgabel, um dieß zu erläutern. Man hört den Ton einer frei in der Luft gehaltenen Stimmgabel ſehr deutlich, wenn man entweder die Richtung durch beide Zinken a c (V. Fig. 36) grade gegen das Ohr zu, oder ſenkrecht gegen die nach dem Ohre gehende Linie hält; aber der Ton wird faſt unhörbar, wenn man das Ohr ungefähr in die Linie a d, den Ecken gegenüber, bringt. Am auffallendſten wird der Unterſchied, wenn man die am Stiele gehaltene Gabel vor dem Ohre um die Axe des Stieles dreht, indem dann der Ton verſchwindet und wieder hörbar wird, je nachdem man die eine oder die andere Stellung hervorbringt. Dieſe zuerſt von Weber beobachtete Erſcheinung erklärt ſich nach deſſen Verſuchen aus der Interferenz der Schallwellen, die von den beiden angränzenden Seitenflächen einer und derſelben Zinke ausgehen.

Eigenthümliche Entſtehungsarten von Tönen.

Beſonders die an der Sirene und den Zahnrädern nachgewieſenen Erſcheinungen zeigen deutlich, daß gleichmäßig und ſchnell wiederholte Impulſe jeder Art einen Ton hervorbringen, und nach Seebeck's Verſuchen iſt nicht einmal erforderlich, weder daß die Zwiſchenräume zwiſchen den einzelnen Impulſen ſehr ſtreng von gleicher Dauer ſind, noch auch daß dieſe Impulſe immer von demſelben Punkte aus in unſer Ohr gelangen; wir ſind daher ziemlich berechtigt umgekehrt zu ſchließen, daß jeder Ton durch ſolche Impulſe bedingt wird, wenn auch manchmal die tiefere Urſache derſelben nicht ſo klar am Tage liegt. So werden beim Erhitzen und Abkühlen von Metallen, beſonders ſtark beim Zink, Töne gehört, die durch die Ausdehnung und Zuſammenziehung des Metalls entſtehen müſſen, indem dieſe, wie es ſcheint, nur ſtoßweiſe die widerſtehenden Kräfte zu überwinden vermag. Eine hiermit zuſammenhängende Entſtehung von Tönen hat zuerſt Trevelyan ausführlich beobachtet, nachdem er zufällig beim Auflegen eines heißen Metallſtückes auf ein kaltes einen Ton wahrgenommen hatte. Eine der beſten Geſtalten für das erhitzte Metall, um ſicher dieſen Ton zu erhalten, iſt die in Fig. 28ª (auf Tafel I.) von der Seite, in Fig. 28ᵇ im Querſchnitte dargeſtellte, einem Ruder nicht unähnliche, und als erhitztes Metall (Wieger) kann Meſſing oder Kupfer, als kalte Unterlage Blei dienen. Beim Auflegen des Wiegers auf die Unterlage ruht derſelbe zunächſt auf den beiden hervorragenden Kanten a und b und auf dem Ende des Stieles, meiſtens geräth er aber von ſelbſt oder wenigſtens ſicher durch einen geringen Anſtoß in eine raſche wiegende Bewegung, die durch die Wärme dauernd erhalten wird und wobei er in ſchnellem Wechſel immer nur auf einem der Puncte a, b ruht. Dieſe regelmäßigen Schwankungen bedingen den Ton, ihre Urſache iſt aber die Mittheilung der Wärme vom Meſſing an das Blei. Da nämlich das Blei ſich ſtärker durch die Wärme ausdehnt, als das Meſſing, und zugleich weniger ſchnell die Wärme in ſeinem Innern

fortleitet, ſo muß ſich unter dem Punkte a durch dieſe Ausdehnung eine kleine Erhöhung bilden, welche den linken Theil des Wiegers in die Höhe drängt und ihn für einen Augenblick nöthigt, mehr auf b zu ruhen; während nun bei b daſſelbe erfolgt, iſt bei a durch die fortſchreitende Ableitung der Wärme die Erhöhung wieder verſchwunden, a fällt alſo zurück, indem b in die Höhe geſtoßen wird, und ſo dauert die wiegende Bewegung regelmäßig fort. Bei der eben beſchriebenen Anordnung des Verſuches muß die kalte Unterlage aus einem Metall gemacht ſeyn, das ſich durch die Wärme ſtärker ausdehnt, als der Wieger, und das zugleich kein guter Wärmeleiter iſt; darum würden auf dieſe Art weder zwei gleiche Metalle noch auch erhitztes Blei auf kaltem Meſſing den Ton hervorbringen. Deſſenungeachtet kann man bei anders gewählten Formen beliebige Metalle zum Tönen bringen, z. B. kann man einen ſehr guten Wärmeleiter als Unterlage anwenden, wenn man ihm zwei hervorragende Spitzen giebt, auf denen der Wieger liegt (I. Fig. 29), weil dann in den Spitzen die ſchnelle Ausbreitung der Wärme zur Seite verhindert wird, alſo auch eine ſtarke Ausdehnung nach oben ſtatt finden muß. Die obige zuerſt von Faraday gegebene Erklärung der Erſcheinung wird beſonders durch A. Seebeck's Verſuche beſtätigt, dem es gelang, die eintretenden Zitterungen dadurch langſamer und meßbar zu machen, daß er an dem Wieger einen längern mit Gewichten beſchwerten Stab befeſtigte, der mit in pendelartige Schwingungen gerieth. Die Abmeſſung der Weite und Dauer dieſer Schwingungen führte zu Reſultaten, die bei ſehr abgeänderten Umſtänden doch immer ſehr wohl mit obiger Erklärung übereinſtimmen, und aus denen ſich als weſentliche Bedingungen des Gelingens die ergeben: daß die Ausbreitung der Wärme nach den Seiten in dem kalten Metalle entweder durch deſſen ſchlechtes Leitungsvermögen oder durch deſſen Geſtalt verzögert werde, daß hingegen in dem heißen Metalle ein ſchneller Zufluß der Wärme nach den Unterſtützungspunkten des Wiegers ſtatt finde.

Beim Erhitzen und Abkühlen von Thermometerröhren hört man, wenn die Luft in denſelben nicht ganz trocken iſt, häufig Töne, die durch das Niederſchlagen des Waſſerdampfes an kältern Theilen der Röhre entſtehen, weil durch das Niederſchlagen einer kleinen Dampfmenge für einen Augenblick ein kleiner leerer Raum gebildet wird, der ſich durch die zuſtürzende Luft füllt, und weil dieſes Niederſchlagen des Dampfes und Zuſtürzen der Luft ſich ſtoßweiſe wiederholt. Ganz ähnliches geſchieht, wenn eine Waſſerſtoffgasflamme in einer offenen Glasröhre brennt; auch hier bildet ſich durch die Verbrennung Waſſerdampf, der bei ſeinem Niederſchlagen nicht mehr ſo viel Raum einnimmt, als die verbrannte Luft einnahm, alſo ein Zuſtürzen der Luft herbeiführt, welches, wie der helle entſtehende Ton verräth, ſtoßweiſe ſtatt findet und die umgebende Röhre mit in Schwingungen verſetzt.

Die Töne, welche Inſecten beim Fliegen hören laſſen, werden nach Burmeiſter's Beobachtungen dadurch hervorgebracht, daß bei jedem Flügelſchlage die Bruſthöhle erweitert und wieder zuſammengezogen, alſo Luft ein- und

ausgetrieben wird. Es ergiebt ſich daraus, mit welcher faſt unglaublicher Geſchwindigkeit, die durch die Höhe des Tones angegeben wird, dieſe Bewegungen geſchehen, und ſo können noch in vielen andern Fällen Töne, die durch Bewegungen entſtehen, zur Meſſung der Geſchwindigkeit derſelben dienen.

Zwei und zwanzigſte Vorleſung.

Transverſal-Schwingungen geſpannter Saiten.

Die hergebrachte Unterſcheidung und Benennung der Töne welche wir in den vorhergehenden Vorleſungen kennen lernten, wird uns von weſentlichem Nutzen ſeyn, um die Schwingungsgeſetze der Körper jetzt allgemeiner herzuleiten und durch die Erfahrung zu prüfen, während wir uns bis dahin nur mit einem einzigen, ganz ſpeciellen Falle derſelben beſchäftigten. Die wichtigſte unter den verſchiedenen Arten von Schallſchwingungen, welche bei tönenden Körpern vorkommen können, iſt die der transverſalen Schwingungen, wobei die ſchwingenden Theilchen ſich ſenkrecht gegen die Längenrichtung des Körpers hin und her bewegen, und um ſich von dieſen Schwingungen zunächſt bei geſpannten Saiten ein klares Bild zu machen, thut man wohl, zuvor einige Beobachtungen über die Bewegungen eines ſchweren, ſchlaff geſpannten Seiles oder einer ſtarken Schnur oder Kette anzuſtellen. Wenn man das eine Ende einer ſolchen ſchlaff geſpannten Schnur in der Hand hält und durch einen Schlag oder plötzlichen Ruck eine Ausbeugung an derſelben erzeugt, ſo läuft dieſe in Form einer Welle nach dem andern Ende der Schnur hin, prallt dort ab und läuft in umgekehrter Stellung zurück, prallt wieder ab und läuft in der Stellung, in der ſie erregt wurde, zurück, und unter günſtigen Umſtänden kann man dieſes Hin- und Herlaufen der Ausbeugung ſehr viele Male hinter einander wahrnehmen. Genauere Unterſuchungen zeigen, daß die Geſchwindigkeit, womit die Ausbeugung fortſchreitet, von ihrer Größe nicht abhängig iſt, wohl aber von der Dicke, Schwere und Spannung der Schnur, ferner daß die Ausbeugung, um einmal hin und her zu laufen, genau ſo viel Zeit braucht, als zu einer gewöhnlichen Doppelſchwingung der Schnur nöthig ſeyn würde. Bei dieſer fortſchreitenden Schwingung findet erſichtlich immer nur an einer einzigen Stelle eine Störung des Gleichgewichtes ſtatt, man iſt daher genöthigt, die ſtehenden Schwingungen davon zu unterſcheiden, bei welchen alle Punkte der Schnur gleichzeitig ein Beſtreben haben, in ihre Gleichgewichtslage zurückzukehren. Stehende Schwingungen können beſonders auf zwei Arten erzeugt werden, erſtens dadurch, daß man zugleich an beliebig vielen ſymmetriſch gelegenen Punkten, z. B. d und e (V. Fig. 7) oder d, c, e (V. Fig. 9) die Schnur abwechſelnd nach entgegengeſetzten Seiten ablenkt, worauf dann alle Theile zugleich in die Gleichgewichtslage zurückkehren, auf der entgegengeſetzten Seite darüber hinausgehen und ſtehende Schwingungen erzeugen, die ohne fortſchreitende Bewegung nun zwiſchen den Stellungen a d c e f und

a′ d′ c′ e′ f′ (V. Fig. 9) hin und her ſchwanken; zweitens können ſolche ſtehende Schwingungen auch durch eine paſſende Aufeinanderfolge mehrerer fortſchreitenden Schwingungen gebildet werden, ganz ähnlich wie ſich in Flüſſigkeiten aus gewöhnlichen Wellen ſtehende Wellen bilden. Wenn man nämlich an einer ſchlaffen Schnur in regelmäßiger Folge fortſchreitende Schwingungen erregt, ſo daß die zweite entſteht, wenn die erſte ſich ſchon um die doppelte Breite der Ausbeugung entfernt hat u. ſ. f., ſo muß die erſte Schwingung, da ſie am Ende der Schnur umgekehrt abprallt und zurückläuft, in 8 gleichmäßig auf einander folgenden Zeitpunkten die mit 1 bezeichneten Stellungen (I. Fig. 30) einnehmen, die zweite muß in den 6 letzten Zeitpunkten die mit 2 bezeichneten, die dritte die mit 3 bezeichneten Stellungen einnehmen u. ſ. f., bis die Schnur im ſiebenten und achten Zeitpunkte den in den beiden letzten Zeilen dargeſtellten Anblick darbietet und zwiſchen dieſen beiden Stellungen hin und her ſchwankt, ganz ſo als ob ſie urſprünglich in ſtehende Schwingungen verſetzt wäre. Von dem Augenblick an, wo dieſe Schwingungen ſich vollſtändig ausgebildet haben, bleiben die Punkte a, b, c in Ruhe, denn gleich nach dem fünften Zeitpunkte wird durch a hindurch die zweite Schwingung links hin, die erſte rechts hin gehen und beide vernichten ſich bei dieſem Durchkreuzen vollkommen, da ſie den Punkt a nach entgegengeſetzten Richtungen bewegen würden; daſſelbe geſchieht aber in allen andern bezeichneten Punkten, ſie bleiben alſo in Ruhe, weil in jedem Augenblicke zwei entgegengeſetzte Schwingungen ſich durch ſie hin bewegen. Man nennt dieſe ruhig bleibenden Punkte Schwingungsknoten, ſie theilen die Schnur in irgend eine Anzahl gleicher Theile und ſtehen um die Breite der urſprünglich erregten fortſchreitenden Schwingung von einander ab, zwiſchen je zweien beugt ſich die Schnur abwechſelnd nach entgegengeſetzten Seiten aus, ohne daß der Gipfel der Ausbeugung nach der Länge der Schnur fortſchreitet. Wenn alſo, wie bisher ſtillſchweigend vorausgeſetzt wurde, fortſchreitende Schwingungen von einer Breite erregt werden, welche in der ganzen Länge der Schnur ohne Reſt aufgeht, und wenn dieſe ſo aufeinanderfolgen, daß die erſte ſchon um zwei Breiten voraus iſt, wenn die zweite entſteht, ſo werden daraus ſehr bald ſtehende Schwingungen, deren Dauer gleich der Zeit iſt, welche die fortſchreitende Schwingung braucht, um den doppelten Abſtand zweier benachbarten Knoten zu durchlaufen. Stehende Schwingungen ganz ähnlicher Art kann man beſonders gut hervorbringen, wenn man das eine Ende einer ſchlaffen Schnur mit der Hand raſch im Kreiſe herumführt; dadurch bildet ſich zunächſt eine ſchraubenförmige Ausbiegung, die längs der Schnur fortſchreitet und am Ende abprallt; fährt man mit einer paſſenden, durch Verſuche leicht zu findenden Geſchwindigkeit fort, ſolche Wellen zu erregen, ſo hat man es in ſeiner Gewalt, mehr oder weniger Schwingungsknoten entſtehen zu laſſen, zwiſchen denen jede Abtheilung der Schnur für ſich ihre ſtehenden Schwingungen vollendet.

Die Entſtehung der Schwingungen geſpannter Saiten findet hierin ihre vollſtändige Erklärung. Beim gewöhnlichen Anſchlage geräth die Saite von

Anfang an in ſtehende Schwingungen, weil alle Theile abgelenkt werden; jedoch bemerkt man auch hier deutlich, daß der Gipfel der Ausbeugung längs der Saite hin und her läuft, wenn ſie nicht in ihrer Mitte getroffen wurde. Bringt man im Anfange eine kürzere Ausbeugung dadurch hervor, daß man in einem paſſenden Punkte, z. B. $1/3$ vom Ende entfernt in b (V. Fig. 9) leiſe mit dem Finger berührt und in d mit dem Bogen ſtreicht, ſo laufen dieſe Wellen längs der Saite hin und zurück und erzeugen zwei Schwingungsknoten, auch muß die Geſchwindigkeit, womit die neuen fortwährend durch den Bogen erzeugten Wellen einander folgen, ſich von ſelbſt ſo reguliren, wie es dieſe Eintheilung erfordert, weil jede andre Schwingungsart, die in b keinen Knoten bildete, durch den berührenden Finger geſtört werden würde. Die Saite ſchwingt alſo zwiſchen den zwei gezeichneten Stellungen hin und her und die frühere Auseinanderſetzung zeigt, daß ſie zu einer vollen Schwingung dieſer Art nur ſo viel Zeit braucht, als eine Saite von $1/3$ ihrer Länge zu einer gewöhnlichen Schwingung brauchen würde. Wie verſchieden hier die Schwingung ausfallen würde, wenn man in b ſtatt leiſe zu berühren die Saite ganz feſtklemmte und die Fortpflanzung der Schwingungen über b hinaus hinderte, zeigt Fig. 8. Die Schwingungen des einen Theiles würden doppelt ſo ſchnell ſeyn als die des andern, ſetzte man alſo beide zugleich in Schwingungen, ſo würden dieſe ganz von einander unabhängig ſeyn und der Saite während einer vollen Schwingung des kürzeren Theiles die Formen a b c, a′ b′ c′, a″ b″ c″ ertheilen. Berührt man die Saite leiſe $1/5$ oder $2/5$ ihrer Länge vom Ende entfernt, ſo bildet ſie beim Schwingen 4 Knoten und ſchwingt 5mal ſo ſchnell, als ſie ohne Berührung ſchwingen würde; überhaupt kann man die Saite zwingen, ſtehende Schwingungen mit einer beliebigen, jedoch nicht gar zu großen Anzahl von Knoten anzunehmen, indem man in einem dieſer Knoten leiſe berührt und mitten zwiſchen zwei Knoten mit dem Bogen ſtreicht. Die Töne, die auf dieſe Art entſtehen, nennt man Flageolet-Töne, ſie unterſcheiden ſich ſchon durch ihren Klang und werden bei allen Saiteninſtrumenten, die gegriffen werden, mit angewandt; ihre Höhe kann man dadurch beſtimmen, daß man die Schwingungszahl des eigentlichen Tones der Saite mit der Anzahl der Abtheilungen multiplicirt, in welche ſie durch die gebildeten Schwingungsknoten getheilt wird. So entſteht bei zwei Abtheilungen oder einem Knoten in der Mitte ein Ton von doppelt ſo vielen Schwingungen als der Grundton, d. i. ſeine Octave, bei drei Abtheilungen die Quinte dieſer Octave, und demnach würde man auf einer Seite, deren eigentlicher Ton C iſt, folgende Flageolettöne erhalten können, wenn man ſie zwingt, die zugehörige über jedem Ton bemerkte Anzahl von Abtheilungen zu bilden:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
C	c	g	$\overline{c}$	$\overline{e}$	$\overline{g}$	$\overline{b}$	$\overline{\overline{c}}$	$\overline{\overline{d}}$	$\overline{\overline{e}}$	$\overline{\overline{f}}$	$\overline{\overline{fis}}$	$\overline{\overline{g}}$	$\overline{\overline{as}}$	$\overline{\overline{a}}$	$\overline{\overline{b}}$	$\overline{\overline{h}}$	$\overline{\overline{\overline{c}}}$ u. ſ. w.[1]

[1] Die Töne $\overline{b}$ und $\overline{\overline{b}}$ ſind nicht ganz rein, die Töne 11 und 13 fallen zwiſchen die daruntergeſetzten. Die zum Dreiklange gehörigen von dieſen Tönen wurden bis zum 16ten hin auf der

Auf den Umſtand, daß die ſechs erſten unter dieſen Tönen lauter gute Conſonanzen ſind, gründet ſich die Einrichtung der *Aeolsharfe*. Ihre Saiten ſind ſämmtlich gleich geſtimmt; bringt man ſie in einen Luftſtrom, z. B. an eine wenig geöffnete Thür einem offenen Fenſter gegenüber, ſo werden die Saiten durch die Reibung der Luft in Schwingungen verſetzt, und indem ſich von ſelbſt durch das verſchiedene Antreffen des Windes bald mehr bald weniger Schwingungsknoten bilden, geben ſie die mannigfaltigſten Flageolettöne. Die erſten, beſonders leicht hervorgehenden Flageolettöne können nur conſonirende Accorde bilden, und daraus ſowohl wie aus dem Anſchwellen und Verklingen dieſer an ſich ungemein angenehmen Töne erklärt ſich der Eindruck, den ſie hervorbringen. Häufig nimmt man an der Aeolsharfe ſehr ſtarke Stöße der zuſammenklingenden Töne wahr, und daraus läßt ſich ſchließen, daß wohl manche von den entſtehenden Tönen Combinationstöne ſeyn mögen; dieſe ſowohl als die höheren Flageolettöne können dann auch diſſonirende Accorde herbeiführen.

Daß wirklich bei der Entſtehung von Flageolettönen die Saite durch ruhig bleibende Punkte in irgend eine Anzahl gleicher Abtheilungen getheilt wird, kann man erſtens an einer Aeolsharfe mit langen und nicht zu ſtraff geſpannten Saiten direct beobachten, zweitens zeigt es folgender einfache Verſuch an einer über zwei feſte Stege geſpannten Saite. Man theile ſie in irgend eine Anzahl, z. B. in fünf gleiche Theile, und bezeichne alle Theilpunkte mit darüber gehängten Papierſchnitzeln, ebenſo die Mittelpunkte aller einzelnen Fünftel, dann berühre man die Saite $^1/_5$ oder $^2/_5$ vom Ende und ſtreiche mitten zwiſchen zweien der 4 Knoten, die ſich dadurch bilden müſſen; es werden dann alle die Papierſchnitzel, die auf den Knoten hängen, gar nicht oder nur unbedeutend in Bewegung gerathen, während die übrigen durch die Schwingungen der Saite abgeworfen werden.

Es ereignet ſich bisweilen, daß eine Saite, während ſie einen Flageoletton giebt, zugleich auch noch in ihrer ganzen Länge ſchwingt, ſo daß man neben dem Flageoletton auch noch den Grundton hört. In dem einfachſten Falle, wo man außer dem Grundton als Nebenton noch ſeine Octave hört, muß dann die Saite ſucceſſiv die Krümmungen g h i k l, g' h' i' k' l', g'' h'' i'' k'' l'' (V. Fig. 10) annehmen.

Transverſal-Schwingungen der Stäbe.

Auch bei Stäben kann eine ſtehende Schwingung, durch die ein Ton hervorgebracht wird, entweder unmittelbar entſtehen, oder durch wiederholte fortſchreitende Schwingungen erzeugt werden, und die mathematiſche Berechnung hat Mittel gefunden, auch hier die Geſetze der Schwingungsdauer bei ungleicher Elaſticität, Dicke und Länge anzugeben. Die einfachſte Schwingungsart iſt hier diejenige, wo der ganze Stab Vibrationen macht und von einer Lage,

Meertrompete, einem im Mittelalter gebräuchlichen Inſtrument mit einer langen und dicken Saite, wirklich angewandt.

wie a b (V. Fig. 11), in die Lage a b′, und ſo wechſelsweiſe übergeht. Hier hängt die Kraft der Elaſticität, welche den gebogenen Stab zu ſeiner natürlichen Lage zurückführt, von der natürlichen Beſchaffenheit des Körpers ab, indem bekanntlich bei gleich langen und gleich dicken Stäben doch nach Verſchiedenheit der Materie eine ſehr ungleiche Kraft erfordert wird, um ſie bis zu einem beſtimmten Grade zu krümmen; mit eben der Kraft aber, welche hiezu erforderlich iſt, ſtrebt auch der Stab zu ſeiner natürlichen Lage zurück. Dieſe Kraft der Elaſticität kömmt hier genau ſo wie bei den Saiten in Betrachtung, ſo daß ein Stab, der, bei gleicher Länge, gleicher Dicke und gleicher Maſſe oder gleichem Gewichte, viermal ſo viel Elaſticität als ein zweiter beſitzt, ſeine Schwingungen doppelt ſo ſchnell vollendet.

In Rückſicht auf die Länge und Dicke der Stäbe gelten hier ganz andre Regeln, als für Saiten. Zuerſt nämlich erhellt leicht, daß ein breiterer Stab faſt ganz ſo, wie ein ſonſt gleicher, aber ſchmälerer ſchwingen muß; denn wenn man zum Beiſpiel einen Stab von 1 Zoll Breite nach der auf dieſe Breite ſenkrechten Richtung von ſeiner natürlichen Lage entfernt und eben das bei einem 2 Zoll breiten Stabe thut, ſo iſt zwar bei dem doppelt ſo breiten Stabe die Maſſe verdoppelt, aber auch die elaſtiſche Kraft, und beide werden gleichzeitig ſchwingen. Dagegen kömmt hier auf die Dicke, nämlich auf die Abmeſſung, in deren Richtung die Biegung erfolgt, viel an. Iſt der eine Stab doppelt ſo dick als der andre, ſo iſt zwar die Maſſe verdoppelt, die Kraft der Elaſticität aber iſt in ſtärkerem Verhältniſſe vermehrt, und deshalb werden hier die Schwingungen ſchneller bei dickern Stäben, als bei dünneren,[1] doppelt ſo ſchnell bei doppelter Dicke u. ſ. w.

Iſt bei zwei Stäben ſonſt alles gleich, aber die Länge ungleich, ſo ſind die Schwingungen langſamer bei längeren Stäben, und zwar ſo, daß die Zeit einer Schwingung bei dem doppelt ſo langen Stabe viermal ſo lang, bei dem dreimal ſo langen Stabe neunmal ſo lang iſt, u. ſ. w. Die theoretiſche Ableitung dieſer Regeln kann ich hier nicht unternehmen.

Auch der ſo feſtgeſtellte Stab iſt verſchiedner Schwingungsarten fähig. Entweder nämlich kann er ohne Schwingungsknoten, der bisherigen Betrachtung gemäß, ſchwingen, oder es kann ein Schwingungsknoten da ſeyn und der Stab, während b ruhend bleibt, die entgegengeſetzten Lagen a b c, a′ b′ c′ abwechſelnd annehmen (V. Fig. 12); die Zahl der Schwingungen, welche er dann annimmt, ſteht aber hier in keinem ſo leichten Verhältniſſe zu den Schwingungen des Grundtons wie bei Saiten, ſondern die Schwingungen ſind etwas mehr als 6mal ſo ſchnell, als bei dem Grundtone. Die Beſtimmungen hiefür, ſo wie die Ableitung der Schwingungszahl bei ungleicher Länge, ſind hier ſchwieriger, als bei Saiten, weil ſie von der Natur und Geſtalt der elaſtiſchen Curve, der Geſtalt nämlich, die ein gebogner elaſtiſcher Stab annimmt, abhängen.

[1] Man nimmt an, daß die elaſtiſche Kraft wie der Cubus der Dicke wächſt, alſo der doppelt ſo dicke Stab 8mal ſo viel Elaſticität, dabei nur 2mal ſo viel Maſſe, alſo 4fache beſchleunigende Kraft beſitzt; daher kommt die Regel, daß die Schwingungen doppelt ſo ſchnell ſind bei doppelter Dicke, und überhaupt die Anzahl der Schwingungen den Dicken proportional iſt.

Ein elaſtiſcher Stab kann auf mehrerlei Weiſe zum Tönen gebracht werden, indeß hat, außer dem eben betrachteten Falle, nur der Fall, wo zwei Punkte a und b, in denen ſich Schwingungsknoten bilden, unterſtützt werden (V. Fig. 16), während die Enden ganz frei ſind, noch einiges Intereſſe. Bei dieſer Anordnung giebt der Stab viel höhere Töne, die mit denen übereinſtimmen, welche der am einen Ende feſtgehaltene Stab dann giebt, wenn er einen Schwingungsknoten in der Mitte erhält. Auch hier können mehrere Schwingungsknoten ſtatt finden, und durch dieſelben wird der Stab immer ſo eingetheilt, daß alle mittleren Abtheilungen gleich, die äußerſten an den Enden aber nur halb ſo lang ſind. Von den Tönen der Stäbe wird bei zwei ziemlich unvollkommenen Inſtrumenten, der Eiſenvioline und der Strohfiedel, Gebrauch macht. Bei der Eiſenvioline ſind es Stahlſtäbe, die auf einem Reſonanzboden mit einem Ende befeſtigt und am andern Ende frei ſind, welche, mit einem Violinbogen ungefähr in der Mitte geſtrichen, die Töne geben. Die Länge der Stäbchen wird ſo abgeglichen, daß ſie der gewöhnlichen Tonleiter entſprechende Töne geben; ſoll dieſe durch zwei Octaven fortgehen, ſo muß, bei gleich dicken Stäben, der tiefſte Ton an einem doppelt ſo langen Stäbchen als der höchſte hervorgebracht werden. Man ſtellt die Stäbchen in einen Halbkreis und ſtreicht, um eine einfache Melodie zu ſpielen, jedesmal den gehörigen Stab.

Die Strohfiedel, die ihren verächtlich klingenden Namen wohl von den allerroheſten Verſuchen, tönende Stäbe zu erhalten, haben muß, beſteht aus ungleich langen Stäbchen, die frei auf einer weichen Unterlage liegen. Der roheſte Verſuch, der indeß etwas Ueberraſchendes hat, weil man von dem unbedeutenden Material nicht einmal ſo viel Ton erwartet, beſteht darin, daß man aus recht gleichfaſerigem Tannenholze recht gleichförmig bearbeitete Stäbchen von etwa 1 Zoll Breite, $^1/_4$ bis $^1/_3$ Zoll Dicke nimmt, ſie auf Strohunterlagen, die etwa ein Viertel der ganzen Länge von beiden Enden entfernt ſind, legt und auf die Mitte mit kleinen Hämmern ſchlägt. Hat man eine ihrer Länge nach gut abgeglichene Reihe ſolcher ſo aufgelegter Stäbchen, ſo daß die Töne der gewöhnlichen Tonleiter alle vorkommen, ſo kann man einfache Stücke darauf ſpielen, und die Töne ſind deſto klangreicher, je reiner die Holzfaſern ſind und je ſauberer ihre Bearbeitung iſt. Schönere, recht wohlklingende Töne erhält man durch Glasſtreifen oder Stahlſtäbchen, die eben ſo in zwei Punkten, die mit den Schwingungsknoten zuſammentreffen müſſen, unterſtützt und mit kleinen Hämmern zum Tönen gebracht werden.

Da es nicht meine Abſicht iſt, alle die Fälle durchzugehen, wo Stäbe zum Tönen gebracht werden, ſo verweile ich nicht bei den minder anwendbaren Betrachtungen und will zum Schluſſe dieſer Materie nur noch etwas von der Stimmgabel ſagen.

Die Stimmgabeln.

Die beiden Zinken einer Stimmgabel ſind als vibrirende elaſtiſche Stäbe anzuſehen. Nach Chladni's auf Verſuche gegründeter Meinung muß man ſie als einen gebogenen Stab anſehen, deſſen zwei Schwingungsknoten gegen

die untere Krümmung hin einander ſehr nahe liegen. Beim einfachſten Vibriren der Gabel nimmt ſie ſolche Schwingungen an, daß die beiden Zinken zugleich gegen einander (nach einwärts) und zugleich von einander ab (nach auswärts) von der natürlichen Stellung ausweichen; man muß daher annehmen, wenn gleich die Beobachtung uns nicht gut darüber belehren kann, daß der untere gekrümmte Theil in unmerklichem Grade über den natürlichen Ruheſtand hinauswärts ſchwingt, wenn die Zinken ihre Schwingung hereinwärts machen.

Man bedient ſich der Stimmgabeln, um immer einen genau gleichen Ton zu erhalten, weil ſie, unabhängig von Veränderungen, welche bei der Spannung einer Saite faſt unvermeidlich ſind, immer denſelben Ton geben. Aber auch die Stimmgabel kann mehr als zwei Schwingungsknoten annehmen und daher außer dem Grundtone noch höhere Töne geben. Der nächſt höhere, ſchon ſehr hoch hinauf liegende Ton entſteht, wenn in jeder Zinke zwei Schwingungsknoten ſind; der dritte entſteht, indem ein Schwingungsknoten in der Mitte der Krümmung und zwei in jeder Zinke ſich bilden. Iſt $\overline{a}$ der Grundton, ſo iſt der zweite $\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}$, der dritte $\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{es}}}}}$, und auf guten Stimmgabeln kann man ſelbſt den dritten Ton erhalten, wenn man ſehr nahe gegen die Krümmung hin mit dem Violinbogen ſcharf ſtreicht.

Transverſal-Schwingungen der Flächen, Klangfiguren.

Die Schwingungen von Flächen, deren wir uns bei den Glocken auch zu wirklichem Gebrauche bedienen, würden einen höchſt merkwürdigen Gegenſtand für Unterſuchungen darbieten, wenn nur nicht dieſe Unterſuchungen ſo ſchwer wären, daß ſie die Kräfte unſrer bisherigen Theorien faſt gänzlich überſteigen. Wir ſind nicht im Stande theoretiſch anzugeben, welchen Ton eine Glocke von gegebner Geſtalt hervorbringen wird, und ſelbſt die verſchiedenen Töne, deren eine und dieſelbe Glocke fähig iſt und die ſehr oft vermiſcht unſer Ohr treffen, ſind wir nicht im Stande ganz genau zu beſtimmen. — Wenn wir ein recht gut tönendes Glas nach und nach mit Waſſer oder Wein füllen, ſo wird der Ton, welchen es beim Anſchlagen giebt, immer tiefer; der Unterſchied iſt zuerſt wenig merklich, wenn der Boden noch nicht hoch bedeckt iſt, aber wenn die Füllung ſich mehr und mehr dem Rande nähert, ſo macht eine geringe Vermehrung der Quantität den Ton ſchon merklich tiefer. Der Grund hievon iſt offenbar der, daß mehr Maſſentheile in Bewegung geſetzt werden müſſen und deshalb die Vibrationen nicht die ganze Schnelligkeit mehr erreichen. Füllt man das Glas mit Queckſilber, ſo iſt es nicht zum Tönen zu bringen; aber auch eine minder ſchwere Flüſſigkeit, Bier zum Beiſpiel, hindert das Tönen, theils weil es nicht ſo vollkommen flüſſig, theils weil es wegen der aufſteigenden Bläschen nicht ganz gleichartig iſt.[1]

[1] Daß das Aufſteigen der Blaſen den Klang hindert, davon kann man ſich ſo überzeugen. Man thue Waſſer in ein gut klingendes Glas und lege auf den Boden ein Stückchen Kreide; gießt man nun Schwefelſäure zu und ſchlägt im erſten Augenblicke, wo recht viele Bläschen ſich entwickeln, an, ſo iſt der Klang ſchlecht, nachher iſt er wieder beſſer.

Das Tönen der Glocken, deſſen genauere Geſetze faſt ganz unbekannt ſind, muß ſich nach ähnlichen Geſetzen richten, und eine Glocke von dickerer Maſſe muß alſo offenbar tiefere Töne geben. Uebrigens hört man bei der Glocke ſehr häufig Nebentöne mit entſtehen, auch ſogar ein Stoßen der zugleich erzeugten, etwas in ihrer Stimmung verſchiedenen Töne.

So wenig es uns aber auch möglich iſt, ſelbſt für ebene Scheiben, und ſelbſt für Scheiben von der einfachſten Form, die Geſetze, wie ſie vibriren, vollſtändig anzugeben, ſo läßt ſich doch ſo viel überſehen, daß ſich die ſtehenden Schwingungen der Scheiben auf ähnliche Art, wie bei Saiten und Stäben, aus fortſchreitenden Schwingungen bilden; nur werden ſich hier nicht beim Durchkreuzen der Schwingungen ruhige Punkte, ſondern ruhige Linien bilden, und verſchiedene Töne müſſen entſtehen, wenn die Scheibe durch dieſe Linien auf verſchiedene Art in Unterabtheilungen getheilt wird. Nach Chladni's Vorſchrift macht man die Knotenlinien einer ebenen Glasſcheibe oder Metallſcheibe dadurch kenntlich, daß man etwas Sand auf ſie ſtreut und ſie dann, zwiſchen den Fingern in einem Punkte feſtgehalten, mit einem Violinbogen ſenkrecht ſtreicht, um Töne hervorzubringen. Der Sand legt ſich, während ſo die Scheibe tönt, in beſtimmte Linien, und bleibt in dieſer Lage, ſo oft man durch gleiches Streichen denſelben Ton hervorbringt, ſobald aber ein anderer Ton hervorgeht, legt er ſich in andere Linien und zeigt, daß mit der Aenderung des Tones auch die Anordnung der Schwingungsknoten eine andre geworden ſey, ſo wie dieß bei Saiten der Fall war, wo wir die Schwingungsknoten dadurch kenntlich machten, daß wir die Stelle ſuchten, wo aufgelegte Papierſtückchen in Ruhe blieben.

Wenn die Chladni'ſchen Klangfiguren gut hervorgehen ſollen, ſo muß man eine möglichſt gleichförmige Scheibe in einem ſo kleinen Raum als möglich entweder zwiſchen den Fingerſpitzen feſthalten oder in einer Schraube einklemmen; man muß beim Streichen den Bogen genau an einerlei Stelle und mit immer gleichem Drucke in einer gegen die Scheibe ſenkrechten Richtung herabziehen und nur eine mäßige Menge trocknen und feinen Sand aufſtreuen. Iſt die Stelle, in welcher die Scheibe feſtgehalten wird, zu groß, ſo hindert man die freien Schwingungen; denn eigentlich ſollte nur ein einziger Punkt unterſtützt werden. Vollendet man die die Vibration bewirkenden Züge des Bogens nicht ſo, daß immer dieſelbe Stelle der Scheibe in immer gleiche Schwingungen geſetzt wird, ſo geht ſtatt des einen Tones, nach welchem ſich die Lage des Sandes zu ordnen anfing, ein andrer Ton hervor, der andre Knotenlinien fordert. Hat man zu viel Sand aufgeſtreut, ſo iſt wieder die Bewegung nicht frei genug. Man bemerkt bei dieſen Verſuchen ſehr bald, daß das Hervorgehen verſchiedener Töne während der erſten Züge des Bogens am leichteſten ſtatt findet; hat aber der Sand nur erſt einmal eine beſtimmte Anordnung erhalten, ſo geht mit viel mehr Sicherheit immer derſelbe Ton wieder hervor, offenbar deswegen, weil der Sand nun grade auf den Stellen aufliegt, die bei dieſem Tone ruhend bleiben, und dagegen erſt weggeſtoßen

werden muß, wenn ein andrer Ton hervorgehen ſoll. Man erleichtert daher das Hervorgehen einer beſtimmten Figur, wenn man an einigen der Stellen, wo Knotenlinien entſtehen ſollen, das heißt, wo der Sand ſich anlegen ſoll, leiſe mit den Fingern berührt, oder wenn man die im Entſtehen begriffene Figur irgendwo leiſe mit dem Finger berührt; denn indem ſo ein Punkt oder einige Punkte der Scheibe am Schwingen gehindert werden, können wenigſtens diejenigen Töne nicht hervorgehen, die ein Vibriren grade dieſer Theile der Scheibe forderten. Wenn die Scheiben nicht elaſtiſch genug ſind, um mit Leichtigkeit auf ihnen die Figuren recht gut begrenzt zu erhalten, oder wenn man das Streichen nicht mit der nöthigen Gleichförmigkeit ausführt, ſo kann eine vorſichtige Berührung an mehrern Stellen dienen, um die Figuren zarter darzuſtellen. Bei ungleichförmiger Beſchaffenheit der Platten kann man es nicht bewirken, daß die Figuren die vollkommene Symmetrie erhalten, die ſie erhalten ſollten, und eine vollkommene Gleichheit in allen Theilen der Platte ſcheint nach Savart's Verſuchen nie völlig ſtatt zu finden und deshalb die einfache Form der Klangfiguren an gewiſſen Stellen und in gewiſſen Richtungen reiner, in andern Richtungen minder ſchön hervorzugehen. Savart ſucht den Grund hiefür in einem cryſtalliniſchen Gefüge und in einer nach verſchiedenen Richtungen verſchiedenen Elaſticität der Körper, welche nach gewiſſen Richtungen, ſelbſt in der ſchönſten Kreisſcheibe, eine andre Anordnung der Vibrationen bewirkt, als in andern Richtungen.

Wie die einzelnen Theile der Scheibe ſich bei den Vibrationen bewegen, das läßt ſich wohl überſehen. Offenbar muß, wenn a b (V. Fig. 14) eine ziemlich lange rechtwinklige Scheibe iſt, die bei c geſtrichen die Knotenlinien a b, d e, f g zeigt, der Theil d h i f eine hinabgehende Vibration machen, indem e h i g eine hinaufgehende Vibration macht, und ebenſo müſſen die Theile a k e h, g i b n während der hinaufgehenden Vibrationen des Theiles e h i g gleichzeitige hinabgehende Vibrationen machen. Es erhellt hiernach, daß jeder hinaufwärts vibrirende Theil grade neben ſich hinabwärts vibrirende Theile, nach den Eckrichtungen aber hinaufwärts vibrirende Theile fordert, und daß zum Beiſpiel bei derjenigen Schwingung der Quadratſcheibe, bei welcher die Knotenlinien, welche Fig. 15 zeigt, entſtehen, die Theile ſo vibriren, daß die mit + bezeichneten Theile die eine, die mit — bezeichneten die andre Richtung gleichzeitig befolgen. Indem aber ſo die an einander liegenden vier Stücke eine in jeder Secunde mehrere hundertmal wechſelnde Stellung annehmen müſſen, ſo läßt ſich auch wohl einſehen, daß dieſes nicht ſo geometriſch ſtreng begrenzt geſchehen kann, wie die Zeichnung es fordert, ſondern daß um jeden Durchſchnittspunkt der Knotenlinien ein gewiſſer Raum unerſchüttert bleiben, dadurch aber die Form der Linien oft ins Bogenförmige übergehen und an Einfachheit verlieren wird.

Daß den tiefern Tönen eine Eintheilung der Scheibe in wenigere Theile entſprechen wird und daß man bei höhern Tönen eine mehr zuſammengeſetzte Klangfigur zu erwarten Grund hat, läßt ſich aus den höhern Tönen der in

mehr Abtheilungen zerlegten Saiten auch wohl vorausſehen; aber nach welchem Geſetze hier die Zahl der Schwingungen zunimmt, iſt noch ſehr wenig aufgeklärt, obgleich Chladni eine merkwürdige Reihe von Erfahrungen darüber bekannt gemacht hat.

Bei Scheiben von geringer Breite findet man die Schwingungen denen gemäß, die ein elaſtiſcher Stab annehmen kann. So wie dieſer, wenn er in a, b, in Punkten nämlich, welche Schwingungsknoten ſind, aufliegt, Schwingungen, wie die Fig. 16 darſtellt, macht, ſo zeigt auch eine in g gehaltene und in f geſtrichene Scheibe bei g und c Querlinien. Der Stab kann drei Schwingungsknoten haben, wie Fig. 17, und ebenſo kann die Scheibe l m die drei entſprechenden Knotenlinien zeigen; der Ton, welchen ſie im letzten Falle macht, giebt 25 Schwingungen, während der erſte 9 macht, und iſt alſo fis, wenn den zwei Knoten C entſprach.

Wenn man die ſchmale Platte an der langen Seite ſtreicht, ſo erhält ſie, in der Mitte feſtgehalten, eine Mittellinie und kann mehrere Querlinien erhalten. Hält man die Scheibe in der Mitte a feſt und ſtreicht bei b, ſo erhält man die beiden ſich durchkreuzenden Linien (V. Fig. 18); hält man an der richtigen Stelle, um 2 Linien zu bekommen, ſo iſt der Ton eine Octave höher; erhält man 3 Querlinien, ſo iſt er eine Octave und eine Quinte höher, als im erſten Falle; die Schwingungszahlen verhalten ſich alſo wie 1, 2, 3. Um dieſe Linien zu erhalten, muß man in einem der Durchſchnittspunkte feſthalten und in einem der Punkte, die mitten zwiſchen den Querlinien liegen, ſtreichen. Iſt die Scheibe erheblich breit, ſo weichen die Schwingungszeiten von der eben gegebnen Beſtimmung ab, und ihre Schnelligkeit wächſt in ſtärkerm Maaße.

Um bei den Scheiben die Regelmäßigkeit der entſtehenden Knotenlinien genauer wahrzunehmen, iſt es gut, jene durch feine aufgezeichnete Linien einzutheilen; iſt die Maſſe der Scheiben und ihre Dicke überall gleich, ſo findet man die Anordnung der Linien ſehr vollkommen ſymmetriſch; aber bei Ungleichheiten in der Scheibe zeigen ſich erhebliche Abweichungen. Um hier nur einige der Klangfiguren zu erwähnen, die man ohne große Schwierigkeit zu erhalten pflegt und die man auf jeder reinen Glasſcheibe leicht ſelbſt darſtellen kann, verweile ich nur bei der Quadratſcheibe und bei der Kreisſcheibe. Ich nehme an, daß die Scheibe mit einer Schraube in dem gehörigen Punkte feſtgehalten werde; — bedient man ſich der Glasſcheiben, ſo muß man unter andern Vorſichten auch die beobachten, daß kein Sandkorn ſich unter der Schraube zu ſcharf in die Glasſcheibe eindränge, die dadurch leicht einen Riß bekommen würde.

Welche Töne mit einer beſtimmten Klangfigur zuſammengehören, hängt von der Größe, Dicke und Schwere der klingenden Platten ab; Metallplatten geben leicht ſehr tiefe Töne, ſind dann aber bei nicht zu geringer Größe um ſo beſſer geeignet, diejenigen Knotenlinien hervorzubringen, die zuſammengeſetzter den höhern Tönen entſprechen.

Bei der Quadratſcheibe entſteht der tiefſte Ton, wenn man an einer Ecke

ſtreicht und in der Mitte feſthält; die Knotenlinien bilden ein grades Kreuz oder auch wohl bogenförmige Linien, die in der Mitte ein größeres nicht in Vibration geſetztes Feld zurücklaſſen. Wenn man, während in a feſtgehalten wird, in einem oder mehrern der mit c bezeichneten Punkte den Finger anlegt, ſo erhält man um ſo leichter dieſen Grundton. Ob man an einer oder der andern Ecke ſtreicht, iſt einerlei. (V. Fig. 19.)

In der Mitte haltend und in der Mitte der Seite ſtreichend kann man einen Ton erhalten, der nur um eine Quinte höher als der vorige iſt, und welchem die diagonalen Knotenlinien Fig. 20 entſprechen, ſtatt deren auch wohl die Bogen a b, c d erſcheinen.

Wenn man in a (V. Fig. 21) etwa um ein Viertel der Breite von der Mitte einer Seite entfernt feſthält, ſo bildet ſich eine Mittellinie und zwei ſymmetriſche Querlinien, wenn man in b ſtreicht. Der Ton iſt um eine Octave und eine große Terze höher, als der Grundton, und giebt alſo 5 Schwingungen, während der Grundton zwei giebt.

Um Fig. 22 zu erhalten, hält man in einem der Punkte a und ſtreicht in einem der Punkte b. Der Ton iſt nicht völlig 2 Octaven und eine kleine Terze höher, als der Grundton. Durch die Unvollkommenheit der Tafel oder einen unrichtig gewählten Punkt zum Feſthalten können (nach Chladni) bei demſelben Tone Bogenlinien f g h, n o p und zwei durch i q und r m geſchlängelte Linien hervorgehen.

Fig. 23 läßt ſich erhalten, wenn man in der Mitte feſthält und in einigen der Durchſchnittspunkte einen Finger berührend anbringt; b, b, b ſind die Stellen, wo man ſtreichen kann. Der Ton, den ich auf Chladni's Autorität angebe, iſt einen halben Ton höher, als die dritte Octave des Grundtones.

Wenn man in der Mitte hält und in der Mitte der Seite ſtreicht, ſo geht leicht Fig. 24 hervor; der Ton iſt um 3 Octaven und eine Quarte höher, als der Grundton.

In den Fällen, wo irgendwo auf der Mittellinie A B feſtgehalten und an einer Seite, etwa in b (V. Fig. 25) geſtrichen wird, tritt zwar oft eben die regelmäßige Symmetrie ein, ſo daß man in b′ ſo gut als in b den Bogen anbringen kann; aber bei größern Platten, zumal wenn ſie irgend ungleich in ihren einzelnen Theilen ſind, hört dieſe Symmetrie auf, und es können reine Töne hervorgehen, wenn gleich die beiden Seiten der Scheibe ſehr ungleiche Linien zeigen. Bei einer quadratiſchen Meſſingſcheibe von beinahe 12 rhein. Zoll Seite kann man 10 Querlinien hervorbringen, die nach Chladni's Beſtimmungen einem Tone entſprechen müſſen, der 5 Octaven und 1 Quinte höher als der Grundton iſt.

Wenn eine Kreisſcheibe in ihrem Mittelpunkte feſtgehalten wird, ſo ſollte ſie eigentlich gleiche Figuren geben, wenn man ſie an irgend einem Punkte des Umfangs ganz gleichförmig ſtreicht, Savart bemerkt aber, daß dieß ſelbſt bei der genaueſten Bearbeitung der Platte nicht geſchieht, ſondern gewiſſe

Stellen paſſender zum Hervorbringen der regelmäßigen Knotenlinien ſind, während andre Stellen ſie auf beſtimmte Weiſe gekrümmt geben.

Bei der in der Mitte feſtgehaltenen Kreisſcheibe zeigt ſich, wenn die Scheibe ihren tiefſten Ton giebt, ein Kreuz, zwei ſich rechtwinklig durchſchneidende Durchmeſſer, als Knotenlinien. Dieſe Durchmeſſer ſchneiden 45 Grad von dem Punkte, wo geſtrichen wird, ein. Will man den zweiten Ton haben, der eine Octave und einen ganzen Ton höher iſt, ſo muß man 30 Grade von dem in Vibration geſetzten Umfangspunkte mit dem Finger leiſe berühren; dann entſteht ein aus drei Durchmeſſern gebildeter ſechsſtrahliger Stern. Der achtſtrahlige Stern entſpricht einem Tone, der 2 Octaven höher als der Grundton iſt; der zehnſtrahlige gehört zu einem noch um eine kleine Sexte höhern Tone. Aber die beiden letzten, die ſo ausſehen ſollten, wie die punktirten Linien in Fig. 26 und 27 (auf Taf. V.) zeigen, ergeben ſich oft ſo wie die ausgezognen Linien, ſo daß hier ſchon eine nicht mehr regelmäßig fortgepflanzte Schwingung ſtatt findet.

Dieſe vielſtrahligen Sterne kann man auf großen Kreisplatten ſo erhalten, daß die Sterne bis gegen dreißig Spitzen bekommen, und dieſe ſtellt man dar, wenn man einen feinen Punkt des Randes, wenige Grade von dem geſtrichenen Punkte, mit dem Finger berührt. Die Kreisſcheibe bietet aber noch eine zweite Reihe merkwürdiger Figuren dar, nämlich Kreiſe mit und ohne durchkreuzende Durchmeſſer. Unterſtützt man die Platte in einem vom Mittelpunkte entfernten Punkte und ſtreicht am Ende eben des Halbmeſſers, in welchem jener Punkt liegt, ſo kann ein Kreis entſtehen; indeß iſt nicht jeder Abſtand des feſtgehaltnen Punktes vom Rande geeignet, einen ſolchen Kreis zu geben. Nach Chladni entſteht der Kreis bei einem Tone, der nur um eine kleine Sexte höher iſt, als der Grundton. Zwei concentriſche Kreiſe ſind ſchwer zu erhalten; man muß an dazu geeigneten Punkten eines und deſſelben Radius die Platte feſthalten und am Ende des Radius ſtreichen; jene feſtgehaltenen oder leiſe berührten Punkte müſſen in möglichſt geringer Ausdehnung angehalten werden. Der äußere Kreis erhält leichte Biegungen, ſo daß er, wenn die Platte recht regelmäßig iſt, aus einwärts und auswärts gebognen Stücken, als eine im Kreiſe zuſammengekrümmte Wellenlinie erſcheint.

Den einfachen Kreis mit einem Durchmeſſer erhält man leicht, wenn man die Scheibe zwiſchen zwei Fingern an beiden Enden deſſelben Durchmeſſers faßt und 90° davon entfernt ſtreicht; der Ton iſt ungefähr eine Octave und eine Septime höher, als der Grundton.

Um einen Kreis mit zwei auf einander ſenkrechten Durchmeſſern zu erhalten, befeſtigt man die Scheibe da, wo ein Durchmeſſer den Kreis ſchneiden ſoll, und ſtreicht 45 Grade von dieſer Stelle entfernt. Der Ton iſt beinahe um eine kleine Septime höher als bei der vorigen Figur.

Dieſe Figuren mögen hier genügen; ich bemerke nur noch, daß man nicht glauben darf, bei dem Feſtſtellen der Platte in einem beſtimmten Punkte und dem Streichen in einem andern beſtimmten Punkte gewiß eine beſtimmte

Figur zu erhalten. Geſtattet die Scheibe unter jenen Umſtänden mehr als einen Ton, ſo giebt ſie auch verſchiedene Figuren; hat man aber bei einem gewiſſen Tone eine beſtimmte Figur hervorgehen ſehen, ſo muß man auf dieſen Ton horchen, und wenn er beim leiſen Anfangen des Streichens hervorgeht, ihn ſo hell als möglich hervorzubringen ſuchen; hat man wirklich denſelben Ton, während der feſtgehaltne Punkt und der geſtrichene Punkt auch dieſelben ſind, ſo geht auch die gleiche Figur hervor. Wenn man bei etwas abgeändertem Unterſtützungspunkte dennoch denſelben Ton erhält, ſo geht eine ſehr wenig verſchiedene Figur hervor, und merkwürdig iſt, daß alle dieſe zu einem Tone gehörigen Figuren ſich in einzelnen für alle gemeinſchaftlichen Punkten durchkreuzen. Strehlke nennt dieſe Punkte Pole und hat ihre Lage ſowohl, als überhaupt die ganze Figur der bei beſtimmten Tönen auf ſehr genau gearbeiteten Scheiben entſtehenden Knotenlinien durch genaue Meſſungen feſtgeſtellt.

Wenn man ſtatt des feinen Sandes Waſſertropfen auf verſchiedene Punkte der Platte bringt, ſo ſieht man auf dieſen feine Wellen entſtehen, wenn ſie nicht auf Knotenlinien ſind, dort hingegen bleiben ſie ruhig. Bedeckt man größere Theile der Platte mit einer Waſſerſchicht, ſo ſieht man die zarten Wellen ſich über einige Theile der Platte ausbreiten, während das Waſſer da, wo Knotenlinien ſind, ruhig bleibt. Je höher der Ton iſt, deſto feiner iſt dieſe Wellenfolge, die, wie eine Schattirung, ganze Theile der Fläche bedeckt; beſonders deutlich läßt ſie ſich wahrnehmen, wenn man eine undurchſichtige Flüſſigkeit wie Milch oder Tinte anwendet.

Dieſe Klangfiguren laſſen ſich auch an mit Waſſer gefüllten Gläſern zeigen. Wenn man ein gut klingendes Weinglas oder noch beſſer ein größeres rundes Glasgefäß mit Waſſer füllt und dann den Rand mit dem Violinbogen ſtreicht, ſo ſieht man gewöhnlich an vier Stellen das Waſſer aufſpritzen, an den Stellen dagegen, die 45° und 135° von dem geſtrichnen Punkte ab liegen, iſt es ruhig; an den vier Stellen, wo das Waſſer ruhig bleibt, kann man den Finger an das Glas legen, ohne das Klingen zu hindern. Hält man an andern ſchicklich gewählten Stellen des Randes den Finger, ſo kann man die Anzahl jener ruhenden Stellen oder Schwingungsknoten auf 6 oder 8 bringen. Offenbar beſteht alſo das durch den Violinbogen hervorgebrachte Tönen darin, daß das kreisförmige Gefäß ſich in abwechſelnde Formen a b c d e f, g h i k l m (V. Fig. 28) biegt, und wenn dieſe Ausweichungen zu ſtark werden, ſo zerbricht das Gefäß, was man wirklich durch zu ſtark hervorgerufene Töne bewirken kann.

Eine eigenthümliche Art von Klangfiguren geht hervor, wenn man die tönende Platte mit feinem Staube, z. B. mit Bärlappſaamen bepudert. Man nimmt dann erſtens die Knotenlinien wahr, die ſich gleichmäßig mit dem Staube bedecken, zweitens aber ſieht man an den Stellen, wo die Platte grade am heftigſten ſchwingt, alſo zwiſchen den Knotenlinien, eine wallende Bewegung des Staubes, wodurch ſich allmälig wolkige Anſammlungen, ſodann runde getrennte Hügelchen grade auf den am meiſten bewegten Stellen bilden. Nach

Faraday's Unterſuchungen wird dieſe Erſcheinung durch Bewegungen der Luft verurſacht; indem nämlich die ſchwingende Fläche die Luft fortſtößt und ſich dann augenblicklich zurückbewegt, muß für eine ſehr kurze Zeit ein luftleerer Raum entſtehen, der ſich von den Seiten her mit Luft füllt; es müſſen alſo in der unmittelbarſten Nähe der Platte Luftſtrömungen ſtatt finden, die überall von den Knotenlinien aus nach den am meiſten bewegten Stellen hingehen und dort von mehreren Seiten zuſammentreffend jene Anſammlungen des Staubes hervorbringen. Faraday und Andere haben Klangfiguren unter der Glocke der Luftpumpe hervorgebracht, unter andern auch dadurch, daß ein Violinbogen mit unter der Glocke angebracht und durch einen luftdicht herausgeführten Stab regiert wurde. Da ſich hier nichts von jenen Anſammlungen auf den ſchwingenden Stellen zeigte, ſo iſt dieß ein Beweis, daß wirklich die Luft dieſelben verurſacht.

Alle dieſe Verſuche laſſen ſich noch auf die mannigfaltigſte Weiſe abändern; ich erwähne davon nur noch, daß auch gut gearbeitete Holzſcheiben ſehr gute Klangfiguren geben und daß einfache Figuren ſogar auf geſpannten Membranen von Cautſchuk, Pergament u. ſ. w. hervorgehen, wenn man dieſelben durch Anblaſen mit einem Rohre zum Tönen bringt, deſſen weite Oeffnung man ganz dicht unter die Fläche hält. Auf eine andre Art, Klangfiguren hervorzubringen, komme ich in der Folge noch zurück.

Dreiundzwanzigſte Vorleſung.

Die elaſtiſchen Körper ſind fähig, außer den bis jetzt betrachteten transverſalen Schwingungen noch andre Arten von Schwingungen anzunehmen, unter denen die longitudinalen oder Längenſchwingungen am meiſten einer ausführlichen Erörterung werth ſind. Nur um den ganzen Umfang der Unterſuchungen anzudeuten, die ſich dem theoretiſchen Forſcher bei der Betrachtung der Schallſchwingungen darbieten, will ich bemerken, daß Stäbe auch noch eine drehende Schwingung anzunehmen und überdieß ſich in der Breite ebenſo abwechſelnd auszudehnen und zuſammenzuziehen fähig ſind, wie in der Länge, ſo daß es alſo eigentlich vier verſchiedene Schwingungsarten der Körper giebt.

Fortpflanzung des Schalles in der Luft.

Bei den Längenſchwingungen bewegen ſich die Theilchen nach der Längenrichtung des Körpers hin und her, es erfolgen alſo keine Biegungen des Körpers, ſondern nur abwechſelnde Ausdehnungen und Zuſammenziehungen. Auch hier muß man ganz ſo wie früher fortſchreitende und ſtehende Schwingungen unterſcheiden, und es liegt in der Natur der Sache, daß bei den Längenſchwingungen im Allgemeinen die Richtung, in der ſie fortſchreiten, mit der Richtung der Bewegung der kleinſten Theilchen übereinſtimmt, während

bei den transverſalen Schwingungen beide Richtungen einen rechten Winkel machen. Zu den fortſchreitenden Längenſchwingungen gehören unter andern die Schallwellen, durch die ſich der Schall in der Luft fortpflanzt, und da die genauere Betrachtung dieſer Fortpflanzung das Verſtändniß der übrigen Erſcheinungen weſentlich erleichtert, ſo verdient ſie der ganzen Unterſuchung vorangeſtellt zu werden.

Daß der Schall einige Zeit gebraucht, um ſich in der Luft fortzupflanzen, das wird uns zwar bei den Lauten oder Tönen, die in unſrer Nähe erregt werden, nicht deutlich, indem ein wenige Fuße von unſerm Ohre entſtehender Schall in unmerklich kurzer Zeit zu uns gelangt; aber wenn wir in einer Entfernung auch nur von 500 Fuß Pfähle einſchlagen oder (am beſten durch das Fernrohr) den Hammer einer Thurmglocke anſchlagen ſehen, ſo bemerken wir eine kleine Verzögerung des Schalles oder nehmen wahr, daß der Schall, der mit dem Anſchlagen zugleich entſtanden war, etwas ſpäter unſer Ohr rührt, als wir das Anſchlagen ſehen. Durch Beobachtungen, die, dieſer ähnlich, mit größerer Genauigkeit angeſtellt werden, hat man die Geſchwindigkeit des Schalles abgemeſſen, indem man bei Kanonenſchüſſen, die weit entfernt abgefeuert wurden, die Zeit beſtimmte, die zwiſchen dem geſehenen Blitze und dem gehörten Schalle verfloß. Bei den von Caſſini im Jahr 1738 angeſtellten Beobachtungen war die Entfernung der Kanone vom Beobachter 87000 Fuß; bei den von andern Beobachtern angeſtellten Verſuchen iſt zwar keine ſo große Entfernung gewählt worden, aber durch ſehr genaue Beobachtung der Zeit haben ſie dennoch dienen können, die Entfernung, durch welche ſich der Schall in 1 Secunde fortpflanzt, noch genauer zu beſtimmen. Dieſe Entfernung iſt bei ungleicher Wärme der Luft etwas verſchieden; man kann ſie, wenn die Luft die Temperatur = 0° R. hat, auf 1022 pariſ. Fuß,[1] bei 10 Gr. Wärme auf 1046, bei 20 Gr. Wärme auf 1069 Fuß ſetzen.[2]

Die wichtigſten Geſetze für die Geſchwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles laſſen ſich auf folgende Weiſe überſehen. Indem die Vibration eines feſten Körpers die Lufttheilchen trifft, erleiden dieſe eine abwechſelnde Verdichtung und Verdünnung, wobei ſie im Augenblicke der ſtärkſten Verdichtung ſich am ſchnellſten nach der einen, im Augenblicke der ſtärkſten Verdünnung am ſchnellſten nach der andern Seite bewegen. Die in dem zunächſt liegenden Lufttheilchen entſtandene Verdichtung bringt in dieſem ein Beſtreben zur Ausdehnung hervor, das nächſte Theilchen wird daher im folgenden Augenblicke in einen Zuſtand der Verdichtung verſetzt, und ſo pflanzt ſich jene Vibration von Theilchen zu Theilchen fort, indem jedes ähnliche Wechſel von Verdichtung und Verdünnung erleidet und ähnliche Bewegungen macht, als das erſte. Die Schnelligkeit dieſer Fortpflanzung wird nicht durch die größere oder geringere Stärke des Schalles oder die davon abhängige größere oder

[1] 1022 par. Fuß = 1058 preuß. Fuß.

[2] Die beſonders genauen Verſuche von Moll geben 1022,2 par. Fuß, die älteren auf Veranlaſſung der Pariſer Akademie angeſtellten 1024,9, die neueren Pariſer Verſuche 1019,1, die Verſuche von Stampfer und Myrbach 1025,9.

geringere Schwankung der Lufttheilchen um ihre Gleichgewichtslage, noch durch die Höhe des Tones beſtimmt, ſondern durch die Elaſticität der Luftart, in welcher der Schall ſich fortpflanzt. Wenn es Luftarten giebt, die bei gleicher Dichtigkeit mehr ausdehnende Kraft beſitzen, ſo muß in dieſen der Schall ſich ſchneller fortpflanzen; denn wegen der gleichen Dichtigkeit iſt in jedem einzelnen, in Bewegung zu ſetzenden Theilchen die Maſſe gleich, die bewegende Kraft aber, mit welcher das zuſammengedrückte Theilchen das benachbarte forttreibt, größer in der mehr elaſtiſchen Luft. Wäre dieſe Ausdehnungskraft in einem Falle viermal ſo groß als im andern, ſo wäre die auf jedes Theilchen wirkende beſchleunigende Kraft viermal ſo groß; wir wiſſen aber, daß einer vierfachen Kraft eben der Raum des fortbewegten Körpers in 1 Secunde entſpricht, durch welchen die viermal geringere Kraft ihn in 2 Secunden forttreiben würde; die Geſchwindigkeit des Schalles iſt alſo doppelt ſo groß in viermal ſo elaſtiſcher Luft, und überhaupt den Quadratwurzeln aus den ſpecifiſchen (d. i. aus den bei gleicher Dichtigkeit ſtatt findenden) Elaſticitäten proportional. Da die erwärmte Luft einen höhern Grad von Elaſticität beſitzt, als die kalte Luft, ſo erhellt hieraus der Grund, warum der Schall ſich in warmer Luft ſchneller als in kalter fortpflanzt; und da die Elaſticität bei 0° zu der bei 10° ſich ungefähr wie 215 : 225, das iſt wie $14\frac{2}{3}$ mal $14\frac{2}{3}$ zu 15 mal 15 verhält, ſo muß die Geſchwindigkeit des Schalles ungefähr in dem Verhältniſſe $14\frac{2}{3}$ zu 15 oder 44 zu 45 wachſen, wenn die Wärme um 10 Grad Reaum. zunimmt. Aber $\frac{1022}{44}$ iſt beinahe 24, es erhellt alſo, daß die Geſchwindigkeit des Schalles um $\frac{1}{44}$, das iſt um 24 Fuß, von 1022 auf 1046 wachſen muß, wenn die Wärme um 10 Grade zunimmt, und daß ſie bis 998 abnimmt, wenn die Luft 10° unter Null abgekühlt iſt.

Im Waſſerſtoffgas würde die Fortpflanzung des Schalles weit ſchneller ſeyn, weil daſſelbe bei viel geringerer Dichtigkeit ebenſoviel Elaſticität als die atmoſphäriſche Luft beſitzt, und Sie werden in der Folge ſehen, daß ſich uns Erfahrungen darbieten, die dieſe Behauptung beſtätigen.

Die Geſchwindigkeit des Schalles hängt dagegen nicht von dem Barometerſtande ab, ſondern wenn die Temperatur und die Miſchungsbeſchaffenheit der Luft gleich iſt, ſo bleibt die Schnelligkeit des Schalles in dichterer und in dünnerer Luft gleich. Der einleuchtende Grund hiefür iſt, daß nach dem Mariotte'ſchen Geſetze die Ausdehnungskraft in eben dem Maaße wie die Dichtigkeit wächſt, alſo bei doppelter Dichtigkeit zwar jedes Theilchen doppelt ſo viel Maſſe, aber auch doppelt ſo viel bewegende Kraft beſitzt. Dagegen kann die Fortpflanzung des Schalles wohl in einigem Grade von dem Feuchtigkeitszuſtande der Luft abhängen, indem durch die Dünſte ein andres Verhältniß zwiſchen Dichtigkeit und Ausdehnungskraft entſteht.

An dieſe relativen Beſtimmungen über die Geſchwindigkeit des Schalles knüpft die Theorie weitere Folgerungen, welche die abſolute Geſchwindigkeit ergeben, und hiebei hat lange eine Abweichung der theoretiſch berechneten Geſchwindigkeit von der beobachteten die Aufmerkſamkeit der Phyſiker auf ſich

gezogen. Wenn man annimmt, daß auch bei den höchſt geringen, auf die kleinſten Zeitmomente beſchränkten Wechſeln der Verdichtung und Verdünnung der Luft, ſo wie ſie bei den Schallwellen ſtatt finden, das Mariotte'ſche Geſetz ſtreng richtig bleibt, ſo findet man nur 860 Fuß als den Raum, welchen der Schall in einer Secunde durchlaufen ſollte, alſo viel zu wenig. Man glaubte, um ſo ſicherer das Mariotte'ſche Geſetz als anwendbar in dieſem Falle anſehen zu dürfen, da es ſich bei viel größern Aenderungen der Dichtigkeit als richtig gezeigt hat; aber dennoch hat eine genauere Ueberlegung gelehrt, daß es grade bei dieſen ſchnellen, wenn gleich ſehr kleinen Wechſeln der Dichtigkeit bedeutende Abweichungen von der Wahrheit ergeben muß.

Wenn wir in Röhren die Luft verdichten oder verdünnen, und die drückende Kraft beobachten, die ſie alsdann ausübt, ſo laſſen wir ihr Zeit genug, um die Temperatur wieder anzunehmen, die ihr und den umgebenden Körpern eigen war, und dann zeigt ſich jenes Geſetz als richtig. Hätten wir dagegen Mittel, um einen ähnlichen Verſuch über den von doppelt ſo dichter Luft ausgeübten Druck ſo ſchnell auszuführen, daß wir ſehr plötzlich die Verdichtung zum Doppelten hervorbrächten und in demſelben Augenblicke den ausgeübten Druck wahrnähmen, ſo würden wir dieſen ſehr viel größer als das Doppelte des vorigen Druckes finden, weil eine plötzliche Verdichtung allemal mit Erhitzung verbunden iſt.[1] Ebenſo würden wir eine plötzlich verdünnte Luft ihren Druck nicht bloß im Verhältniß der Dichtigkeit ändern ſehen, ſondern ſie würde, wegen der bei der Verdünnung entſtehenden Kälte, weit geringeren Druck zeigen. Um dieß nur an einer ungefähren Rechnung zu zeigen, will ich annehmen, bei einer Compreſſion zur zehnfachen Dichtigkeit der Luft ſteige die Wärme um 100 R. Grade, dann ſollte wegen der Verdichtung die Elaſticität, die Verſtärkung des Druckes, auf das Zehnfache ſteigen; aber eine auf 100 Grad erwärmte Luft hat faſt doppelt ſo große Elaſticität, und dieſe iſt daher auf das Zwanzigfache gewachſen, während die Dichtigkeit nur auf das Zehnfache wächſt. Auf ähnliche Weiſe ſind auch bei den Verdünnungen die Aenderungen der Elaſticität ſtärker, als die Aenderungen der Dichtigkeit, und das Mariotte'ſche Geſetz iſt alſo da, wo die momentanen Wirkungen der Verdichtung und Verdünnung zu berückſichtigen ſind, nicht mehr gültig, ſo daß, obgleich die Veränderungen der Dichtigkeit bei den Schallvibrationen höchſt gering ſind dennoch wegen der ſtärker als die Dichtigkeit wachſenden Elaſticität der Luft, die Geſchwindigkeit des Schalles viel größer ſeyn muß, als bei ſtrenger Anwendbarkeit des Mariotte'ſchen Geſetzes ſtatt fände. Laplace hat nach Verſuchen, die ſich hier nicht ganz erklären laſſen, die Berechnung dieſes Unterſchiedes angegeben, und die ſo gefundene Geſchwindigkeit des Schalles

[1] Dieſe Erhitzung, welche durch plötzliche Verdichtung der Luft hervorgebracht wird, iſt in dem pneumatiſchen Feuerzeuge ſo groß, daß Zündſchwamm zum Brennen gebracht und ein Lichtblitz hervorgebracht wird. Es wird nämlich in einer Röhre von ſehr ſtarkem Glaſe, welche am einen Ende geſchloſſen iſt, vermittelſt eines dicht ſchließenden Kolbens, durch einen plötzlichen Stoß mit der Hand, die Luft ſchnell und ſtark verdichtet, und dieſe Verdichtung bewirkt die ſo große Wärme, deren der Zündſchwamm zum Brennen bedarf.

ſtimmt wenigſtens ſehr nahe mit der Erfahrung überein, die bis dahin mangelhafte Theorie hat alſo hiedurch eine ſehr wichtige Vervollſtändigung erhalten.

Daß der Schall, indem er ſich durch die Luft fortpflanzt, allmälig ſchwächer wird, läßt ſich, da er ſich dabei zugleich ausbreitet und alſo nach und nach immer mehr und mehr Lufttheilchen bewegen muß, leicht begreifen. Um den Schall der menſchlichen Stimme in größern Entfernungen hörbar zu machen, wendet man die Sprachröhre an, deren weſentlichſter Nutzen der iſt, daß ſie die ſonſt aus einander gehenden Schallſtrahlen der parallelen Richtung näher bringen. Kegelförmige Sprachröhren ſcheinen dieſen Zweck am einfachſten und beſten zu erfüllen. Da nämlich die Schallſtrahlen, wie Wellen und wie Lichtſtrahlen, unter eben dem Winkel zurückgeworfen werden, unter welchem ſie antreffen, ſo werden die vom Munde A aus ſeitwärts nach B gehenden Schallwellen nach C und hier wieder nach C D (V. Fig. 29) zurückgeworfen, wobei ſie eine immer mehr der Axe parallele Richtung erhalten, alſo ſich weniger zerſtreuen. Indeß ſind die Sprachröhre doch nur auf mäßige Entfernung brauchbar, zumal da ſie die Worte nie ganz deutlich in der Verſtärkung hören laſſen, und das um ſo weniger, je mehr die Materie, woraus ſie beſtehen, ſelbſt mit in Schallſchwingungen geräth. Für kürzere Entfernungen können mit großem Nutzen auch enge Röhren angewandt werden, die ganz bis an den Punkt hingeführt werden, wo der Schall gehört werden ſoll. Sie bewirken auch, daß der Schall ſich nicht ausbreiten kann, und indem er bei ſeiner Fortpflanzung immer nur eine Luftmaſſe von demſelben Querſchnitt zu bewegen hat, bleibt die Größe der hervorgebrachten Bewegung dieſelbe, der Schall wird alſo nicht erheblich geſchwächt. — Die Stärke des Schalles hängt auch von der Dichtigkeit der Luft ab, da offenbar bei gleicher Bewegung Luft, die mehr Maſſe hat, unſer Ohr ſtärker afficiren muß. Daher kommt es, daß auf hohen Bergen der Schall viel ſchwächer, dagegen in ſehr kalter oder künſtlich verdichteter Luft ſtärker gehört wird als gewöhnlich.

Wenn der Schall ſich nach der Richtung des Windes fortpflanzt, ſo iſt ſeine Schnelligkeit ungefähr um ſo viel, als die Geſchwindigkeit des Windes beträgt, größer, dem Winde entgegen um ebenſoviel langſamer. Die Ferne, bis zu welcher man einen beſtimmten Schall hört, iſt ſehr ungleich. Bei Nacht iſt der Schall theils der großen Stille wegen, theils aber auch wegen der gleichförmigern Dichtigkeit der Luft weiter hörbar.[1] — Beim Sturme geht ſelbſt ein kurzer Schall in ein länger fortdauerndes Nachhallen über. Es ſcheint, als ob dann die wellenförmig fortgeführten Lufttheilchen, indem ſie die empfangenen Schallvibrationen zu den benachbarten Theilchen fortpflanzen, denſelben Schall auf mehreren längeren und kürzeren Wegen zum Ohre bringen und dadurch, zum Beiſpiel bei dem Klange einer Glocke, den bald wachſenden, bald wieder verhallenden Nachhall hervorbringen. Daß dabei zugleich

[1] Es ſcheint, daß die bei Tage in der Atmoſphäre aufſteigenden wärmeren Luftſtröme eine Ungleichförmigkeit hervorbringen, die der Fortpflanzung des Schalles hinderlich iſt.

in der Richtung dem Winde entgegen der Schall ſich nicht ſo weit fortpflanzen, nicht ſo weit hörbar ſeyn kann, ſcheint mir begreiflich, indem wenigſtens diejenigen in Vibration geſetzten Theilchen, die grade, indem ſie vibriren, gegen die Erde oder gegen feſte Körper getrieben werden, den Schall nicht weiter fortpflanzen werden. Unter günſtigen Umſtänden und bei völliger Stille der Luft hört man den Schall ſehr weit. Parry erzählt, daß man in den Polargegenden bei kalter Luft die menſchliche Stimme auf 7000 Fuß weit verſtand, wozu die große Stille und freilich auch die größere Dichtigkeit der kältern Luft beiträgt; Hundegebell hört man an ſtillen Sommerabenden über Waſſer mehr als 10000 Fuß weit. Kanonenſchüſſe ſoll man in einzelnen Fällen 30 Meilen weit gehört haben.[1]

Echo.

In den gewöhnlichen Fällen iſt die Fortpflanzung des Schalles gradlinig; aber ſehr oft täuſcht uns die Zurückwerfung des Schalles von feſten Körpern, und veranlaßt uns, den tönenden Gegenſtand an einem andern Orte, als da, wo er wirklich iſt, zu ſuchen. Dieſe Zurückwerfungen nennen wir Wiederhall, Echo, und erklären uns ihre Entſtehung leicht. So wie nämlich die Welle im Waſſer fortſchreitend, ſo lange als ſie kein Hinderniß findet, ruhig ihren Weg fortſetzt, ſo gehen auch die der Luft durch eine Schallerregung mitgetheilten Schwingungen in grader Linie auf jedes nächſte Theilchen über, ſo lange kein widerſtehender Körper ein Hinderniß darbietet; aber ſo wie die Welle, zurückgeworfen von einem feſten Gegenſtande, eine von dieſem ausgehende neue Welle erregt, ſo entſteht auch hier ein in neuer Richtung von dem Gegenſtande zurückgeworfener Schall. Iſt man der Fläche, welche den Schall reflectirt, ſehr nahe, und zwiſchen der Gegend, von woher der Schall urſprünglich kam, und dem Urſprunge des Echo's, ſo bemerkt man keine deutliche Wiederholung des Schalles, ſondern ein Nachtönen, von jenem Gegenſtande ausgehend, hängt ſich nur dem urſprünglichen Schalle an und verſtärkt ihn, daher wirkt in Zimmern der Wiederhall nützlich, indem er die Töne verſtärkt, ohne ſie undeutlich zu machen. Je größer dagegen die Räume ſind, deſto längere Zeit braucht der Schall, um an die reflectirende Wand und zurück zu gelangen, es erfolgt dann der Wiederhall deutlich getrennt erſt eine kurze Zeit nach dem Schalle ſelbſt und trifft z. B. bei einer Muſik unangenehm mit den folgenden Tönen zuſammen. In großen Sälen und Kirchen muß daher, ſoviel es ſich thun läßt, der Wiederhall gehindert werden, was unter andern durch Vermeidung zu ausgedehnter und ununterbrochener Flächen, durch Anbringung von Vorhängen und dergleichen, ſogar durch die Gegenwart vieler Perſonen bewirkt wird.

Wird 500 Fuß entfernt von der Echo gebenden Fläche ein Schall erregt, ſo vergeht zwiſchen dem Schall und dem Echo etwa eine Secunde, weil

[1] Man hat Angaben von noch größern Entfernungen, die mir aber kaum glaublich vorkommen.

der Schall $^{1}/_{2}$ Secunde braucht, um von uns bis zu der Fläche zu gelangen, und $^{1}/_{2}$ Secunde, um wieder zurückzukommen. Hievon hängt zum Theil die Möglichkeit, daß ein Echo mehrere Sylben wiederhole, ab, indem dieß bei zu geringer Entfernung nicht möglich iſt; aber damit das Echo rein ſey, muß auch der Gegenſtand den Schall ganz genau in ſeiner unveränderten Beſchaffenheit zurückwerfen. Dieß iſt der Umſtand, durch welchen es ohne Zweifel geſchieht, daß zuweilen ſelbſt unter günſtig ſcheinenden Umſtänden kein Echo gehört wird, weil es nämlich nicht allein auf die Lage der Gegenſtände ankömmt. Es iſt wohl ganz gewiß, daß das Echo da am reinſten entſteht, wo der zurückwerfende Gegenſtand geeignet iſt, ganz ähnliche Vibrationen anzunehmen, wie die ſind, die er empfing, oder wenigſtens nicht, durch die antreffenden Lufttheilchen in Vibration geſetzt, eine zu ungleichartige Vibration erhalte. Die mehrmaligen Wiederholungen deſſelben Lautes beim Echo entſtehen ſehr oft ganz deutlich daher, daß ein Zurückwerfen zuerſt von näheren, dann von entfernteren Punkten zum Ohre gelangt, zuweilen aber können ſie auch, im minder freien Raume, dadurch hervorgebracht werden, daß zuerſt die gradezu zu einem gewiſſen Punkte gelangenden Schallwellen, ſpäter aber die von andern Punkten zurückgeworfenen und ſo nach mehreren Zurückwerfungen zum Ohre gelangenden Laute gehört werden. Da wo mehrere nach einander angegebne Laute im Echo nach einander gehört werden, wo man zum Beiſpiel eine Reihe laut ausgeſprochener Sylben wiederholt hört, muß die Entfernung des zurückwerfenden Gegenſtandes groß genug ſeyn, damit die Sylben vollendet werden und dann erſt das Echo der erſten eintrifft. Rechnet man höchſtens 5 Sylben, die man laut genug in einer Secunde ausſprechen kann, ſo müßte ein fünfſylbiges Echo eine Entfernung von 500 Fuß fordern. — Der merkwürdige Umſtand, daß das Echo oft ſtärker iſt, als ein in grader Linie ſo weit fortgegangener Schall ſeyn würde, muß wohl dadurch erklärt werden, daß mehrere zurückgeworfene Schallwellen ſich in einem Punkte vereinigen oder auch der Gegenſtand, wie bei der Reſonanz, durch ſeine Beſchaffenheit geeignet iſt, den Schall zu verſtärken. Die Stimme eines Rufenden hören wir in 2000 Fuß Entfernung gewöhnlich kaum noch vernehmbar, aber ein Echo, das von einem 1000 Fuß entfernten Gegenſtande kömmt, iſt oft noch ſehr deutlich. Eine ſolche Verſtärkung kann auch bei der Reflexion an ziemlich unregelmäßigen Flächen eintreten. Denn wenn (V. Fig. 30) a, b, c, d einzelne Gegenſtände ſind, die im Stande ſind, die von A ausgegangnen Vibrationen zurückzuwerfen und dabei ſelbſt in ähnliche Schwingungen verſetzt zu werden, ſo gehen von a, b, c, d Schallwellen, der dieſen Punkten mitgetheilten Stärke der Schallerregung gemäß, nicht bloß in einer beſtimmten Richtung, ſondern in beträchtlich verſchiedenen Richtungen aus, und ein Ohr in B ſowohl als in C und in mehreren Punkten wird das von allen dieſen Punkten ausgehende Echo deutlich hören, wenn die Wege des Schalles nahe genug gleich lang ſind, um keinen Zwiſchenraum zwiſchen dem vom einen und andern Punkte ausgehenden Schalle merklich werden zu laſſen. Da nun unſer Ohr

zwei Eindrücke, die um $^1/_{30}$ Secunde hinter einander folgen, gewiß nicht mehr unterſcheidet, ſo kann man in B, C und mehreren Punkten ein verſtärktes Echo des in A erregten Schalles hören, wenn die Wege A a und a B zuſammen, A b und b B zuſammen, A c und c B, A d und d B zuſammen nur nicht um mehr als $^{1020}/_{30} = 34$ Fuß verſchieden ſind. Daß dieß in B, C und mehr Punkten ſtatt finden kann, iſt einleuchtend.

Am vollkommenſten findet dieſe Vereinigung in einzelnen Punkten bei der Zurückwerfung von elliptiſch oder paraboliſch gekrümmten Flächen ſtatt und darauf beruht die Eigenthümlichkeit der ſogenannten Sprachgewölbe und die Anwendung von Schalldeckeln, wo dieſer Reflex ſtörend wirkt. Einen lehrreichen Fall, der beides erläutert, erzählt ein engliſches Journal. In einer neu erbauten Kirche, wo hinter der Kanzel ein elliptiſcher, oben gewölbter Anbau einen unerträglichen Widerhall gab, der die auf der Kanzel geſprochenen Worte ganz unverſtändlich machte, brachte man einen paraboliſchen Schalldeckel unmittelbar hinter dem Standpunkte des Redners an. Dieſer hielt die nach jenem Gewölbe zu gehenden Schallſtrahlen auf und hinderte daher die nachtheilige Wirkung derſelben, zugleich aber war die Stimme des Redners nun deutlich und verſtärkt in der ganzen Kirche zu hören. Der Schalldeckel hatte nämlich die paraboliſche Form b c d (V. Fig. 35), und der Mund des Redners nahm ungefähr den Brennpunkt a ein; da nun die Parabel die Eigenſchaft hat, daß die von a ausgehenden und die Parabel b c d treffenden Schallſtrahlen parallel zurückgeworfen werden und die nahe bei a in g hervorgehenden Schallſtrahlen ſich ſogar in der Gegend von e vereinigen, ſo trugen die hinterwärts gehenden Strahlen a c, a d, nun nach c f, d h zurückgeworfen, bei, die Worte in der Gegend e hörbarer zu machen. Wenn umgekehrt in e leiſe geſprochen ward, ſo hörte man dieß verſtärkt in a, weil die um e ausgehenden und in die Gegend b gelangenden Schallſtrahlen in g geſammelt werden.

An dieſe Sätze über die Bewegung der fortſchreitenden Schwingungen in der Luft ſchließt ſich die Unterſuchung der ſtehenden Schwingungen der Luft und die Frage nach der Entſtehung der Töne in den Blasinſtrumenten unmittelbar an.

Töne der gedeckten Pfeifen.

Die Blasinſtrumente, deren wir uns zu muſicaliſchen Zwecken bedienen, ſind von doppelter Art, indem bei einigen die Entſtehung des Tones von dem Schwingen eines dünnen Metallſtreifens, der Zunge, oder überhaupt von den Schwingungen des Mundſtückes abhängt, bei andern aber die Luftſäule ſelbſt allein es iſt, deren Vibrationen den Ton beſtimmen. Die letztern ſollen uns zuerſt beſchäftigen. Um in dieſer Art von Orgelpfeifen die Luft in zitternde Bewegung zu ſetzen, haben ſie die Einrichtung, daß ein am einen Ende eindringender Luftſtrom an einer Seitenöffnung vorbeigehen muß, an deren Rande er ſich bricht und dadurch eine vibrirende Bewegung der Luft hervor-

bringt. Wenn die Pfeiſe von unten bei C angeblaſen wird (V. Fig. 31), ſo iſt an dem Seiteneinſchnitte A die untere Seite, die untere Lippe, unter einem mäßigen Winkel hineintretend, und der Luftſtrom, der von dem untern Theile C nur durch eine ſchmale Oeffnung nahe unter A in die Pfeiſe A B eintritt, bricht ſich an dem gleichfalls hineintretenden obern Rande. Die bei A vorbeigehende Luft ſteht alſo hier immer mit der äußern Luft in unmittelbarer Verbindung, und die Länge der in Zitterung geſetzten Luftſäule iſt nur von hier an bis an das Ende B zu rechnen.

Um die Urſache des Tones zu erklären, muß ich Sie daran erinnern, daß nur ſtehende Schwingungen den Ton erzeugen, während die fortſchreitenden Schwingungen ihn zu uns fortpflanzen, daß aber aus fortſchreitenden Schwingungen ſtehende werden, wenn auf eine paſſende Art reflectirte Schwingungen mit den urſprünglich erzeugten zuſammentreffen. Um die Umſtände, von denen die Dauer dieſer ſtehenden Schwingungen in der Luft abhängt, zu erkennen, iſt es gut, auf den früher erläuterten analogen Fall der Wellen in Flüſſigkeiten zurückzugehen, die, vom Ende eines Kanals zurückgeworfen, ſich in ſtehende Wellen umgeſtalten. Hier gab es in einer Entfernung von dem zurückwerfenden Endpunkte, welche dem Viertel einer Wellenlänge gleich war, einen Punkt, wo, dieſer Wellenbewegung ungeachtet, die Höhe der Waſſerfläche immer gleich blieb, während eben da ein wechſelndes Hin- und Zurückgehen der Waſſertheilchen ſtatt fand. Um uns davon zu überzeugen, hatten wir nur nöthig, die vier Zeitmomente aufzufaſſen, in denen der Anfangspunkt eines Wellenberges, der höchſte Punkt eines Wellenberges, der Anfangspunkt eines Wellenthales und der tiefſte Punkt eines Wellenthales dieſen Interferenzpunkt, ein Viertel der ganzen Wellenlänge vom Endpunkte, erreicht. In dem Augenblicke, da der Endpunkt eines Wellenberges, welches zugleich der Anfangspunkt eines Wellenthales iſt, in dieſem Punkte e (IV. Fig. 1, II.) ankömmt, iſt die vordere Hälfte des Wellenberges zurückkehrend mit der zweiten, erſt andrängenden Hälfte des Wellenberges vereinigt, und von e an befindet ſich gegen die Wand zu ein doppelt angeſchwellter Wellenberg e f, e aber hat die Höhe der dem Gleichgewichte entſprechenden Waſſeroberfläche. Iſt ein Viertel einer Wellenlänge vorbei gerückt, ſo wäre die Tiefe des herandringenden Wellenthales und zugleich die Höhe des zurückkehrenden Wellenberges in eben dem Punkte e angekommen; dieſe gleichen einander aus, und k (Fig. 1, III.) hat noch immer die vorige Höhe, während nun zugleich auch von c bis an die Wand die Oberfläche horizontal iſt. Nach einer gleichen Zeit ſind in c e (Fig. 1, IV.) der zurückkommende Anfangspunkt und der herandringende Endpunkt des Wellenthales vereinigt; ein tiefes Wellenthal liegt zwiſchen e und der Wand, aber in e iſt die Waſſerhöhe noch immer dieſelbe. Aehnliche Interferenzpunkte bilden ſich nun auch in Abſtänden von $^3/_4$, $^5/_4$, $^7/_4$ u. ſ. w. Wellenlängen von der Wand; ſie zeichnen ſich dadurch aus, daß bei der fortwährenden Ausgleichung eines Wellenberges und eines entgegengeſetzt ſich bewegenden Wellenthales das Waſſer in ſeinem Niveau bleibt,

daß dagegen in horizontaler Richtung ſich das Waſſer ſehr ſtark durch dieſe Punkte hin und zurück bewegt. Grade in der Mitte zwiſchen zwei ſolchen Interferenzpunkten hingegen ſchwankt das Waſſer ſtark auf und ab, ohne ſich ſeitwärts zu bewegen. Ein Sinken und Steigen des Waſſers dauert genau ſo lange Zeit, als die fortſchreitende Welle brauchte, um den vierfachen Abſtand des erſten Interferenzpunktes von der Wand zu durchlaufen.

Um dieſe Betrachtung der Wellenbewegung dem noch etwas näher zu bringen, was ſich uns in den Orgelpfeifen zeigt, will ich noch eine Bemerkung beifügen. Befände ſich die ganze in Wellenbewegung geſetzte Maſſe in einem Kanale, ſo dürfte man den Wänden dieſes Kanales in irgend einem Interferenzpunkte einen Einſchnitt bis auf die Tiefe, welche der Waſſerhöhe im Ruheſtande gleich iſt, geben, ohne ein Ausfließen des Waſſers zu befürchten, ſtatt daß in den benachbarten Punkten der Kanal mit hinreichend hohen Wänden, damit die höher ſteigenden Wellen nicht überfließen können, verſehen ſeyn müßte. Ja wir können noch hinzufügen, wenn ſich jener Ausſchnitt der Wand in e befindet, ſo werden die Wellen im Kanale ſich ſo ordnen, daß e t dem Viertel einer Wellenlänge gleich wird; denn wenn dieß Anfangs nicht der Fall wäre, ſo würde das immer wieder eintretende Auslaufen einigen Waſſers aus dieſem Einſchnitte den regelmäßigen Fortgang der Welle ſo lange ſtören, bis die Wellenlänge ſich ſo geordnet hat, daß e t einem Viertel der Wellenlänge gleich iſt, und dann erſt würde eine Welle nach der andern ruhig ankommen und zurückgeworfen werden.

Der Vorgang in den am Ende B geſchloſſenen oder gedeckten Orgelpfeifen iſt dieſem ganz genau entſprechend, nur daß wir ſtatt eines Anſchwellens und eines Vertiefens der Oberfläche hier eine Verdichtung und Verdünnung der Lufttheilchen haben. Indem der Luftſtrom (V. Fig. 31), durch C eingelaſſen und durch einen engen Spalt dicht an A gegen B zu hinaufdringend, beim Anſtoßen an die Lippe A eine Welle in der Pfeife erregt, ſcheint es zuerſt, als ob dieſe Welle zufällig jede Länge annehmen könnte;[1] aber es erhellt bald, daß die vom Ende B zurückgeworfene Welle mit der eintretenden zuſammentreffend ſich bald ſo ordnen werde, daß in A die natürliche Dichtigkeit ungeändert bleibe. Da nämlich hier eine freie Verbindung mit der äußern Luft ſtatt findet, ſo iſt dieß der Punkt, wo wir vorhin einen Einſchnitt in der Kanalwand annahmen, und ſo wie bei den Waſſerwellen bei dieſem Einſchnitte der Punkt immer gleicher Höhe lag, ſo liegt hier der Punkt immer gleicher Dichtigkeit. Die Luftwellen ordnen ſich daher im einfachſten Falle als ſtehende Schwingungen ſo an, daß die Entfernung von dem Einſchnitte A bis an das Ende B ein Viertel der Wellenlänge iſt, daß alſo eine volle Schwingung grade ſo lange Zeit dauert, als die fortſchreitende Schwingung braucht, um viermal den Raum A B zu durchlaufen. Hiermit iſt alſo der Ton, den die Pfeife

[1] Die Wellenlänge iſt der Raum, welchen die Luftſchwingung mit der bekannten Geſchwindigkeit (1022 Fuß in 1″) durchläuft, während ein beſtimmtes Lufttheilchen einmal alle Zuſtände der Verdichtung und Verdünnung durchgeht, in die es durch die Schwingung verſetzt wird.

giebt, beſtimmt; denn da die Fortpflanzung der Schallwellen bei mittlerer Wärme 1048 par. Fuß in 1 Secunde beträgt und bei einer Pfeife, die von A bis B 1 Fuß lang iſt, jede Schwingung ſo lange dauert, als der Schall braucht, um 4 Fuß zu durchlaufen, ſo werden $^{1048}/_{4}$ d. i. 262 Schwingungen in einer Secunde erfolgen, alſo der Ton $\bar{c}$ entſtehen. Ueberhaupt findet man die Schwingungszahl des Tones, wenn man mit der vierfachen Länge der Pfeife in die Schallgeſchwindigkeit dividirt, und daraus ſieht man, daß eine $1^1/_2$ mal ſo lange Pfeife die untere Quinte, eine doppelt ſo lange die tiefere Octave geben wird u. ſ. w. Eine 16fußige bei B geſchloſſene Pfeife giebt das ſogenannte 32 fußige C, welches 16 Schwingungen in einer Secunde macht.

Die geſchloſſene Pfeife kann nicht bloß einen Ton geben, ſondern die Bedingung, daß an der Oeffnung bei A keine Aenderung der Dichtigkeit der Luft, bei B keine Bewegung ſtatt finde, kann noch in mehreren Fällen erfüllt werden, nämlich dann, wenn A B gleich $^3/_4$, $^5/_4$, $^7/_4$, $^9/_4$ ... einer Wellenlänge iſt. Auch hier nämlich findet eine Zerlegung der Luftſäule in mehrere Theile, ein Entſtehen von Schwingungsknoten ebenſo gut wie bei den Saiten ſtatt, jedoch wird dazu eine beſtimmte Stärke des Anblaſens erfordert. Nehmen wir an, A ſey um $^5/_4$ einer Wellenlänge von D (V. Fig. 32) entfernt, ſo würden ſich auch in $^1/_4$ Wellenlänge und $^3/_4$ Wellenlänge Abſtand vom Ende in B und F Punkte gleichbleibender Dichtigkeit bilden, in denen ſich die Luft längs der Röhre hin und her bewegt, und zwar in A und B übereinſtimmend, in F entgegengeſetzt. Durch die gegen einander gerichteten Bewegungen der Luft von A und F nach G hin würde in der einen Hälfte der Schwingung in G eine Verdichtung, zugleich in E eine Verdünnung entſtehen, in der andern Hälfte der Schwingung hingegen beim Zurückgehen der Luft nach beiden Seiten von G aus würde ſich in G eine Verdünnung, in E zugleich eine Verdichtung bilden. In D würde ganz in Uebereinſtimmung mit G Verdichtung uud Verdünnung wechſeln, ohne daß dabei die Luft ſich merklich bewegte. D, E, G ſind ſonach bei dieſer Schwingungsart Punkte der Ruhe, Schwingungsknoten, in denen freilich die Dichtigkeit am ſtärkſten wechſelt, B, F, A ſind Punkte der ſtärkſten Hin- und Herbewegung, in denen aber die Dichtigkeit der Luft ſich gleich bleibt. Hier iſt A G ein Viertel der Wellenlänge; wäre die ganze Pfeife alſo ſo lang, wie im frühern Falle, ſo würden die Wellen nur $^1/_5$ ſo lang ſeyn, in einer Secunde alſo fünfmal ſo viele vorübergehen, der Ton machte 1310 Schwingungen und wäre $\overline{\overline{\overline{e}}}$. Wenn die Wellen ſich ſo anordnen, daß die Länge der Pfeife gleich $^3/_4$ einer Wellenlänge iſt, ſo entſteht außer dem Knoten am Ende noch einer bei I (V. Fig. 33); A, H ſind Punkte unveränderter Dichtigkeit, die Wellen ſind $^1/_3$ ſo lang als im erſten Falle, die Schwingungszahl iſt dreimal ſo groß. Wenn die Länge der Pfeife gleich $^7/_4$ einer Wellenlänge iſt (V. Fig. 33), ſo ſind D, E, G, I Knoten, C, F, H, A Punkte unveränderter Dichtigkeit u. ſ. f. Es verhalten ſich demnach die Schwingungsmengen der durch dieſelbe Pfeife mittelſt verſtärkten Anblaſens hervorzu-

bringenden Töne wie die Zahlen 1, 3, 5, 7, 9, 11 u. ſ. w., und die zugehörigen Töne ſind für C als Grundton C g $\overline{e}$ $\overline{b}$ $\overline{\overline{d}}$ $\overline{\overline{f}}$ $\overline{\overline{fis}}$.

Mittönen von Luftmaſſen.

Die Bildung der ſtehenden Schwingungen aus fortſchreitenden giebt noch zu einigen intereſſanten Anwendungen Veranlaſſung. Läßt man eine Stimmgabel, die $\overline{a}$ angiebt, über einem cylindriſchen, nicht allzuweiten Gefäße von etwa 7 Zoll Höhe ſchwingen, ſo nimmt man eine bedeutende Verſtärkung des Tones wahr, die durch das Mittönen der Luft in dem Gefäße entſteht. Da nämlich jede Schwingung von $\overline{a}$ $^{1}/_{440}$ Secunde dauert, ſo iſt die Länge einer Welle $^{1048}/_{440}$ Fuß oder reichlich 28 Zoll und die Höhe des Gefäßes einer Viertelwelle gleich, ſo daß ſich darin durch die fortgepflanzten Schwingungen der Gabel ſtehende Schwingungen wie in einer Pfeife bilden müſſen, die nun ihrerſeits auch den Ton $\overline{a}$ geben. Ein anderer Ton fordert natürlich eine andre Höhe des Gefäßes, um verſtärkt zu werden; man kann aber für zu hohe Töne das Gefäß dadurch ſtimmen, daß man mittelſt eingegoſſenen Waſſers die Luftſäule paſſend abkürzt. Jede an einem Ende geſchloſſene Röhre iſt hiernach fähig, den Ton zu verſtärken, deſſen Welle viermal ſo lang iſt, als die Röhre, und dadurch wird der Ton verurſacht, den man hört, wenn man ſolche Röhren mit der Oeffnung nahe vor das Ohr hält. Da nämlich die Luft am Tage wenigſtens immer mit einem verworrenen Geräuſche erfüllt iſt, das man ſich als ein Gemenge der verſchiedenſten, ſehr kurze Zeit dauernden Töne denken kann, ſo werden von dieſen allen diejenigen, deren Wellenlänge gleich dem Vierfachen der Röhrenlänge iſt, verſtärkt und darum etwas vorklingend gehört werden, während die übrigen nicht verſtärkten noch das nämliche Geräuſch bilden. Röhren von verſchiedener Länge müſſen auf dieſe Art verſchiedene Töne aus einem Geräuſche ausſcheiden.

Auch in offner Luft bringt jede reflectirende Wand ſchon ähnliche Erſcheinungen hervor. Indem nämlich die Schallwellen, die von einem tönenden Körper ausgehen, an der Wand reflectirt werden, müſſen ſie auch bei ihrer Durchkreuzung mit den noch nicht reflectirten Wellen ſtehende Schwingungen bilden, die in dem Abſtande von ½, 1, $^{3}/_{2}$ . . . Wellenlänge von der Wand ihre Knoten haben. Das Vorhandenſeyn dieſer Knoten nimmt man nach Savart's Beobachtungen deutlich wahr, indem man in denſelben den Ton ſchwächer, mitten zwiſchen zweien am ſtärkſten hört. Auch hier muß man verſchiedne Töne in verſchiedenem Abſtande von der Wand am beſten verſtärkt hören, entſprechend der Wellenlänge des Tones, und daher kommt es, daß auch jede ſolche Wand ſchwache Töne aus einem Geräuſch ausſondert, die ſich ändern, wenn man ſich von der Wand entfernt oder ihr nähert.

Vierundzwanzigſte Vorleſung.

Töne der offnen Pfeifen.

Die Betrachtungen, welche wir über die Bildung der ſtehenden Schwingungen in den gedeckten Pfeifen anſtellten, finden mit einigen Abänderungen auch bei offenen Pfeifen ihre Anwendung. Wenn in einer bei C offenen Pfeife (V. Fig. 34) fortſchreitende Schwingungen erregt werden, ſo bewirkt das plötzliche Uebergehen aus der Röhre in den offenen Raum, daß in dem Augenblicke, wo eine verdichtende Welle bei C austritt, eine verdünnende von da zurückzulaufen beginnt, es findet alſo auch gewiſſermaßen eine Reflexion der Schwingungen am Ende der Röhre ſtatt, jedoch ſo, daß bei der Reflexion ſelbſt die verdichtende Welle ſich in eine verdünnende verwandelt und umgekehrt. Stimmt nun die Länge der Pfeife grade mit einer halben Wellenlänge überein, ſo wird in dem Augenblicke, wo die verdichtende Welle nach C gelangt und als verdünnende ihren Rücklauf beginnt, auch in A eine verdünnende erzeugt, beide begegnen ſich in G und bewirken dort eine ſtarke Verdünnung der Luft ohne merkliche Bewegung; G iſt alſo ein Knoten, da ſich nach einer halben Schwingung ebenſo zwei verdichtende Wellen dort begegnen; A und C ſind dagegen Punkte ungeänderter Dichtigkeit, in denen aber die Luft ſich beſonders ſtark und in beiden immer nach entgegengeſetzten Richtungen hin und her bewegt. Stimmt die Länge der Pfeife mit einer ganzen Wellenlänge überein, ſo bilden ſich Knoten bei B und D (V. Fig. 34), Punkte ungeänderter Dichtigkeit bei A, G und C, und ſo kann ſich noch ferner eine ſtehende Schwingung bilden, wenn die Länge der Pfeife gleich $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{6}{2}$ . . . Wellenlängen iſt. Beim Anblaſen muß aus ſchon erörterten Gründen die Länge der urſprünglich erregten Wellen ſich von ſelbſt ſo abändern, daß ſie zu einer dieſer Eintheilungen paßt, und beim ſchwächſten Anblaſen entſteht der tiefſte Ton, deſſen Schwingungszahl alſo gefunden wird, wenn man mit der doppelten Länge der Pfeife in die Schallgeſchwindigkeit dividirt. Die Schwingungszahlen der durch ſtärkeres Anblaſen mittelſt derſelben Pfeife hervorzubringenden Töne verhalten ſich zu einander wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 . . ., die zugehörigen Töne ſind alſo für C als Grundton

C c g $\bar{c}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$ $\bar{b}$ $\bar{\bar{c}}$ . . . ganz übereinſtimmend mit der Folge der Flageolettöne bei Saiten. Durch eine offne Pfeife von 32 Fuß Länge wird das 32 füßige C angegeben, derſelbe Ton, den die gedeckte Pfeife von 16 Fuß Länge als Grundton giebt, und überhaupt muß eine offne Pfeife doppelt ſo lang genommen werden, als eine gedeckte, wenn ſie denſelben Ton geben ſoll; ein andrer Unterſchied beſteht darin, daß die gedeckte Pfeife bei ſtärkerem Anblaſen nicht alle die Töne geben kann, welche die offene giebt.

Die Erfahrung beſtätigt dieſe Schlüſſe der Hauptſache nach ganz vollkommen, und die Uebereinſtimmung iſt deſto genauer, je weniger die Weite

der Röhre erheblich in Vergleichung gegen die Länge iſt; bei Röhren, die ziemlich kurz ſind und einen nicht viel geringern Durchmeſſer haben, als ihre Länge, treten Abweichungen ein. Savart's hierüber angeſtellte Verſuche zeigen, daß Pfeifen von verſchiedener Weite, die denſelben Ton geben ſollen, mit zunehmender Weite etwas an Länge abnehmen müſſen. Es erhellt leicht, daß dieß kein Einwurf gegen die Theorie iſt, indem dieſe annimmt, daß in einer ſehr engen Röhre gar keine Seitenbewegung ſtatt finden könne. Eine zweite kleine Abweichung von der Theorie zeigt die Erfahrung darin, daß der Ton nicht ganz und gar bei ungleicher Stärke des Anblaſens ungeändert bleibt; er wird nämlich bei ſtärkerem Anblaſen ein wenig höher, und man ſieht daher, daß jene Beſtimmung des mit der Oeffnung zuſammenfallenden Interferenzpunktes kleinen Schwankungen unterworfen iſt, auf welche die angegebne einfache Theorie nicht Rückſicht nimmt. Dieſe beruhen darauf, daß die im vollkommenſten Sinne unveränderliche Dichtigkeit an der Oeffnung A nicht ſo durchaus ſtreng ſtatt findet, und daß ſelbſt die Vorausſetzung, daß der feſte Boden der am einen Ende geſchloſſenen Pfeife nicht im geringſten mit vibrire, offenbar nicht als ganz ſtreng wahr gelten kann. Nach Hopkins Unterſuchungen wird durch dieſe Einflüſſe ferner noch bewirkt, daß die Knoten eine um ein Geringes abgeänderte Lage haben, und daß in ihnen keine vollkommene Ruhe, aber doch die ſchwächſte Bewegung der Luft ſtatt findet. Practiſch wurde dieß dadurch nachgewieſen, daß eine zum Theil gläſerne Röhre, die ſich durch Ineinanderſchieben beliebig verkürzen ließ, über einer ſchwingenden Abtheilung einer Glasſcheibe aufgeſtellt wurde, ſo daß durch dieſe Schwingungen die Luft in der paſſend verkürzten Röhre mit in Schwingungen gerieth. Die Lage der Knoten wurde dann durch eine über einen kleinen Rahmen geſpannte und mit Sand beſtreute Membrane geprüft, die an einem Faden in die Röhre hinabgelaſſen wurde. Da die Membrane durch die Luftſchwingungen mit in Zitterungen verſetzt wurde, ſo machte der Sand in den Knoten die geringſten oder gar keine Bewegungen, mitten zwiſchen zwei Knoten hingegen die ſtärkſten. Das Vorhandenſeyn der Knoten kann man ſogar durch die größern oder geringern Bewegungen eines horizontalſchwebend hinabgelaſſenen Papierſtückes nachweiſen.

Um die Richtung der Bewegung in den verſchiedenen Punkten der tönenden Luftſäule nachzuweiſen, hat Wheatſtone ein ſinnreiches Mittel angewandt. Er ſchob zwei halbkreisförmig gebogene Röhren am einen Ende über einander, ſo daß ſie entweder die Form eines nicht ganz geſchloſſenen Ringes oder eines S annehmen konnten, dann ſtellte er zwiſchen den beiden Oeffnungen des Ringes eine Glasplatte auf, die durch Streichen einen Ton gab, der ſeiner Höhe nach durch die Röhre verſtärkt werden konnte. Bei dieſer Stellung tönte nun die Luft in der Röhre nicht mit, weil ſie an beiden Enden zugleich nach derſelben Richtung bewegt wurde; wurde hingegen die Röhre ſo gedreht, daß ſich ihre beiden Enden entgegengeſetzt ſchwingenden Abtheilungen der Fläche gegenüber befanden, ſo tönte ſie, weil jetzt die Luft an beiden Enden entgegengeſetzt bewegt wurde, ſich alſo in der Mitte ein Knoten bilden konnte.

Fortpflanzung des Schalles in andern Luftarten.

Die bisher entwickelte Theorie giebt uns zugleich ein Mittel, die Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalles in andern Luftarten zu beſtimmen. Man bringt nämlich an einer Pfeiſe, deren genaue Länge und deren Ton in der atmoſphäriſchen Luft bekannt iſt, eine Blaſe ſo an, daß beim Zuſammendrücken der Blaſe die Pfeiſe angeblaſen wird und den ihrer Länge angemeſſenen Ton giebt. Dieſe Pfeiſe bringt man in eine auf die Luftpumpe geſetzte Glocke, deren obere Oeffnung ſo geſchloſſen wird, daß die Pfeiſe luftdicht hervorragt und die Blaſe ſich außerhalb befindet; man füllt nun die Glocke und die Blaſe mit derjenigen Luftart, die man prüfen will, damit die Pfeiſe mit dieſer Luftart gefüllt ſey und von der Blaſe aus eben die Luftart zum Anblaſen verwandt werde. Indem dann durch einen Druck auf die Blaſe die Pfeiſe zum Tönen gebracht wird, muß man mit Hülfe des Monochords oder eines richtig geſtimmten Taſteninſtruments den Ton beſtimmen, welchen die Pfeiſe angab, und leitet daraus her, in welcher Zeit der Schall die Länge der Pfeiſe durchläuft und folglich welchen Raum der Schall in einer Secunde durchlaufen würde, wenn er ſich immer in dieſer Luftart fortpflanzte. Nach Dulong's Verſuchen muß eine offene 2 Fuß lange Pfeiſe, die in gewöhnlicher Luft bei 10° Wärme $\bar{c}$ mit 262 Schwingungen giebt, mit Waſſerſtoff angeblaſen einen Ton ſehr wenig tiefer als $\bar{\bar{h}}$ mit 975 Schwingungen geben. Da aber die Pfeiſenlänge gleich einer halben Wellenlänge, mithin eine Wellenlänge gleich 4 Fuß iſt, ſo braucht der Schall, um im Waſſerſtoffe 4 Fuß zu durchlaufen, $\frac{1}{975}$ Secunde und ſeine Geſchwindigkeit iſt 4 × 975 oder 3900 F. in 1 Secunde. Ebenſo kann man den Verſuch mit andern Luftarten anſtellen, und die Theorie würde bei einer Luftart, die bei gleicher Elaſticität ¼ ſo dicht iſt und alſo bei gleicher Dichtigkeit viermal ſo viel Elaſticität beſitzt, eine doppelt ſo große Geſchwindigkeit fordern; aber ſtreng trifft dieſe Beſtimmung nicht zu, indem ohne Zweifel auch hier durch die Wärme-Entwickelung, welche mit der Verdichtung verbunden iſt, eine eben ſolche, aber bei jeder Luftart anders beſtimmte Abweichung vom Mariotte'ſchen Geſetze ſtatt findet, wie wir ſie bei atmoſphäriſcher Luft bemerkt haben.

So lernen wir die Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalles in andern Luftarten kennen, aber freilich nicht mit einer ganz vollkommenen Genauigkeit, weil ſelbſt in derſelben Gasart der Ton nicht immer genau gleich bleibt. Dieſe kleinen Unterſchiede entſtehen daher, weil einige Verſchiedenheit im Anblaſen den Ton um etwas Weniges ändern kann, ſo wie denn auch der Einfluß der Weite der Röhre, von welchem ich vorhin geredet habe, nicht ganz ſtreng den Schluß auf die Fortpflanzung in einer ganzen Secunde geſtattet.

Von den hier entwickelten Geſetzen für die Töne der offenen Orgelpfeiſen hängen auch die Töne der Flöte ab, und überhaupt die Töne der Inſtrumente, welche ohne Mundſtück bloß durch die Vibration der in ihnen enthaltenen

Luft Töne geben. Die bei der Flöte bald geöffneten, bald geſchloſſenen Löcher beſtimmen die Länge und die Lage der Knoten der tönenden Luftſäule auf eine noch nicht hinreichend ergründete Art; außerdem können höhere Töne durch Ueberblaſen hervorgebracht werden.

Bei denjenigen Inſtrumenten, die nicht durch Seitenöffnungen eine Aenderung der tönenden Luftſäule erhalten können, laſſen ſich keine andre Töne hervorbringen, als die, welche eine offene Röhre von unveränderlicher Länge geben kann, nämlich diejenigen, deren Schwingungszahl nach der Folge der natürlichen Zahlen fortgeht; kleine Abänderungen in den Tönen bringt man z. B. beim Waldhorne durch theilweiſes Verſtopfen der Mündung, außerdem durch Abänderung im Anblaſen hervor.

Zungenpfeifen.

Alle dieſe Unterſuchungen ſetzten voraus, daß die in der Pfeife enthaltene Luft durch nichts gehindert wird, diejenigen Vibrationen anzunehmen, die ſie durch Zerlegung in regelmäßige Luftwellen am natürlichſten anzunehmen im Stande iſt; aber es giebt eine andre Art von Orgelpfeifen und Blasinſtrumenten, bei denen die urſprüngliche Beſtimmung des Tones von andern Vibrationen ausgeht. Bei den Zungenpfeifen nämlich iſt die Röhre, durch welche das Einblaſen der Luft geſchieht, an der Seite durch eine bewegliche Platte, die Zunge, ſo geſchloſſen, daß die hervordringende Luft dieſe Zunge, welche am einen Ende befeſtigt iſt, wie eine geöffnete Klappe nach außen drängt. Die elaſtiſche Zunge nimmt hiedurch, indem ſie bald dem Luftſtoße folgend ſich, durch die Trägheit fortgeführt, zu weit öffnet, bald zurückgehend den Luftſtrom beengt, gleichzeitig wechſelnde Vibrationen an und giebt auf dieſe Weiſe einen Ton, der zunächſt durch die Länge und Beſchaffenheit der Zunge beſtimmt wird. Indem aber dieſe Zunge am Anfange einer eingeſchloſſenen Luftſäule, am einen Ende der Orgelpfeife, ſich befindet, ertheilt ſie der ganzen Luftſäule die Schwingungen, welche ſie ſelbſt annimmt, und der dadurch ungemein verſtärkte Ton iſt es, den wir durch dieſe Pfeifen vernehmen.

Daß hier nicht eine jede Länge der Orgelpfeife gleich gut geeignet ſeyn werde, den Ton einer beſtimmten Zunge zu unterſtützen, ſondern daß diejenige Länge ſich am beſten dazu ſchicke, die ſchon ſelbſt dem Tone angemeſſen iſt, welchen die Zunge hervorbringen ſoll, läßt ſich wohl überſehen; genauere Verſuche zeigen aber auch, daß gegenſeitig die Länge der in Zitterung zu ſetzenden Luftſäule ebenſo gut auf die Vibrationen der Zunge einwirkt, wie dieſe auf jene. Genauer hat dieſen Zuſammenhang zwiſchen den Tönen des Zungenrohres und der Länge der Luftſäule W. Weber unterſucht, der unter andern Verſuchen folgenden anſtellte. Ein Zungeninſtrument, wo nämlich die kleine durch die Zunge abwechſelnd geöffnete und geſchloſſene Röhre noch nicht mit einer längern Pfeife verſehen war, gab den Ton $\overline{g}$, welcher als durch die abwechſelnden Unterbrechungen des hervordringenden Luftſtromes

beſtimmt anzuſehen iſt. Wurde nun dieſes Inſtrument mit längeren und längeren Röhren, ſo wie es bei den Orgelpfeifen geſchieht, verbunden, ſo ging bei der immer größern Verlängerung der Ton durch alle Zwiſchentöne um eine ganze Octave herunter; aber als er dieſe Tiefe bei reichlich 16 Zoll Länge der Röhre erreicht hatte, ſprang er bis zu g zurück, und von dieſer Länge an brachte eine neue Verlängerung wieder eben die etwas tiefern Töne hervor, wie vorhin bei geringerer Länge; bei ungefähr 30 Zoll Länge war der Ton ungefähr um drei ganze Töne bis d herunter, und bei 33 Zoll Länge fing der Ton g wieder an, neben d und cis hervorzugehen; bei größerer Verlängerung fingen die Töne, zu g zurückſpringend, wieder von g an tiefer zu werden, gingen aber nun nur bis dis herab; da wo der Ueberſprung zu g zurück eintrat, gab die Röhre zwei Töne nach Verſchiedenheit des Anblaſens, ſtatt daß ſie bei andrer Länge durchaus nur einen Ton gab. In Hinſicht auf dieſes Zurückſpringen iſt es nun merkwürdig, daß 16 Zoll 3 Linien die Länge iſt, bei welcher die offene Röhre für ſich allein den Ton g geben würde, und daß immer, wenn die Röhre um ſo viel verlängert wurde, der Ton g wieder zurückkehrte. Man ſieht hieraus, daß die Zunge, indem ſie die Luftſäule mit in Bewegung ſetzen ſoll, im Allgemeinen zu langſamerer Bewegung gezwungen wird; hat aber die Luftſäule die Länge, die dem urſprünglichen Tone des Zungeninſtrumentes angemeſſen iſt, ſo kehrt die natürliche Schwingungszahl der Zunge zurück, und dieſes geſchieht auch dann, wenn die Orgelpfeife die mehrfache Länge hat und ſich daher die Luftſäule in Theile, jenen Vibrationen gemäß, theilen kann.

Dieſe Zungenpfeifen, die man ehmals Schnarrwerke nannte, die man aber durch eine verbeſſerte Einrichtung der Zunge, ſo daß dieſe ohne anzuſtoßen ihre Vibrationen frei vollendet, von dem Unangenehmen eines rauhen Tones gänzlich befreit hat, gewähren den Vortheil, daß man ein Anſchwellen und Nachlaſſen in der Stärke des Tones bei ihnen bewirken kann, was hingegen bei den Flötenröhren, bei denen, wo die Luftſäule ohne Zunge ſchwingt, nicht ſtatt findet. Dieſe nämlich ſpringen bei einem veränderten Anblaſen zu leicht in einen der höheren Töne über, die ſie zu geben im Stande ſind; die Zungenpfeifen ſind dagegen dieſem Ueberſpringen nicht unterworfen.

Aber obgleich dieſes Hinübergehen zu Tönen, die um eine ganze Octave oder noch mehr vom Grundtone entfernt liegen, bei den Zungenpfeifen nicht ſtatt findet, ſo können doch auch ſie auf eine doppelte Weiſe um etwas Weniges von ihrem richtigen Tone abweichen, und hieran hat der Scharfſinn Weber's ein Mittel geknüpft, um völlig unveränderliche Pfeifen zu erhalten. Ich habe ſchon vorhin erwähnt, daß die Flötenröhren ſich bei etwas verſtärktem Anblaſen in einen etwas höhern Ton hinüberziehen, und ebenſo kann es bei den Zungenpfeifen geſchehen, wenn bei ihnen die Vibration der Luftſäule das Vorherrſchende iſt; dagegen würde eine bloße Zunge, durch ſtärkeres Anblaſen in größere Vibrationen geſetzt, einen etwas tiefern Ton geben, als bei mäßigem Anblaſen, und eine Zungenpfeife, bei der die Zunge vorherrſchend einwirkt,

wird alſo dieſem Fehler unterworfen ſeyn. Es läßt ſich daher wohl überſehen, daß hier eine Compenſation beider Fehler möglich iſt, wenn man die Luftſäule, welche man der ſchwingenden Zunge zuordnet, grade ſo beſtimmt, daß kein Vorherrſchen der Zunge und auch kein Vorherrſchen der Luftſäule bei der Einwirkung auf den Ton ſtatt findet. Weber hat die Verhältniſſe, die bei ſolchen Compenſationspfeifen ſtatt finden müſſen, beſtimmt angegeben und dadurch das Mittel gefunden, um beim Anſchwellen des Tones dennoch denſelben Ton genau zu erhalten.

Von dem, was ſonſt zum Bau der Orgel gehört, daß die von den Blaſebälgen hergetriebene Luft in den Windladen verdichtet wird und nun, indem durch das Anziehen der Regiſter der Zugang zu gewiſſen Syſtemen von Pfeifen, und durch das Anſchlagen der Taſten der Zugang zu den Pfeifen der einzelnen Töne geöffnet wird, das Anblaſen der beſtimmten Pfeifen ſtatt finden kann, und ſo weiter, kann ich hier nicht wohl etwas Umſtändlicheres erwähnen; dagegen muß ich über die übrigen Blasinſtrumente noch einige Worte ſagen. Als wirkliche Zungenpfeifen, deren Länge aber durch das Greifen der Seitenlöcher abgeändert wird, ſind zu betrachten: Hoboe, Clarinette und Fagott, ferner gehört gewiſſermaßen auch dahin die Mundharmonica und Maultrommel. Bei erſterer beſtimmt die ſchwingende Zunge den Ton, der nur durch die iſochroniſchen Luftſtöße verſtärkt wird, bei letzterer geräth die Luft im Munde mit in tönende Schwingungen, ſo daß durch Erweiterungen und Verengerungen der Mundhöhle verſchiedene Töne hervorgebracht werden können. Einer ähnlichen Verſtärkung durch Luftſtöße hat ſich Iſoard auch bei tönenden Saiten bedient, um bei denſelben zugleich die Möglichkeit eines Anſchwellens der Töne hervorzubringen. Er läßt die durch einen Hammer angeſchlagene Saite in der Längenſpalte eines Faches ſchwingen, durch welches von dem Windkaſten eines Gebläſes her ein Luftſtrom ſich ergießt. Indem hier die Saite, ähnlich wie eine Zunge, die Spalte abwechſelnd bald mehr bald weniger verſchließt, bewirkt ſie in dem Luftſtrome iſochroniſche Stöße, durch die der Ton deſto mehr verſtärkt wird, je ſtärker der Luftſtrom iſt, zugleich wird die Saite durch den Luftſtrom in Schwingung erhalten.

Trompete, Poſaune, Serpent und Waldhorn ſind in Beziehung auf die Tonhöhe als offene Pfeifen zu betrachten; daher kann bei der Poſaune durch Veränderung der Länge der Röhre, deren Krümmung dabei keinen Unterſchied macht, und durch Ueberblaſen jeder Ton hervorgebracht werden. Beim Waldhorn und bei der Trompete, wenn letztere nicht mit Klappen verſehen iſt, ſind zunächſt nur die Töne möglich, die durch Ueberblaſen in offenen Pfeifen entſtehen; jedoch ſpielen bei der Erzeugung der Schwingungen die in das Mundſtück hineingepreßten Lippen offenbar eine wichtige Rolle und dienen faſt wie eine ſchwingende Zunge, weshalb ſehr wohl erklärlich iſt, daß auch durch die Art des Anblaſens, abgeſehen von der Stärke deſſelben, eine Verſchiedenheit in der Tonhöhe bewirkt werden kann.

Das Stimmorgan.

Endlich iſt noch das künſtlichſte und in vielen Beziehungen vollkommenſte unter den muſicaliſchen Inſtrumenten, das menſchliche Stimmorgan, unter der Kategorie der Zungenpfeifen mit zu begreifen. Daß die Stimme im Kehlkopfe entſtehe, und daß die Verengerung dieſes Organes, die durch die Vorragung der Stimmbänder bewirkt wird und die Stimmritze heißt, dabei vorzüglich als das Inſtrument der Stimme zu betrachten ſey, leidet keinen Zweifel; jedoch bleibt das zunächſt noch zweifelhaft, ob dieſes Inſtrument als eine offne, mittelſt der Lungen angeblaſene Pfeife zu betrachten, alſo der Ton von den Schwingungen der Stimmbänder mehr oder minder unabhängig ſey, oder ob der Ton hauptſächlich grade durch die Schwingungen der Stimmbänder bedingt und nur durch die Luftſtöße verſtärkt werde, wie bei einer durch Anblaſen in Schwingung verſetzten Membran oder Zunge. Savart vertheidigt die erſtere Anſicht, da er durch Verſuche gefunden hat, daß Pfeifen mit elaſtiſchen Wänden viel tiefere Töne geben können, als ſonſt Pfeifen von der Länge zukommen; ja er zeigt ſogar, daß man aus einem Inſtrumente, das aus elaſtiſchen Wänden, aus Pergament oder einer ähnlichen Materie, pyramidaliſch gebildet, ungefähr die wahre Größe des Stimmorgans hat, alle Töne erhalten können, deren die menſchliche Stimme fähig iſt. Dennoch ſprechen mehr Gründe für die zweite Meinung, beſonders die Verſuche, welche J. Müller an ausgeſchnittenen Kehlköpfen von Leichen angeſtellt hat, indem er die Wirkung der Lungen durch ein Gebläſe erſetzte. Der Ton, den er hierbei erhielt, war der menſchlichen Stimme ſehr ähnlich, und es zeigte ſich, daß die Höhe deſſelben faſt ausſchließlich durch die Spannung der Stimmbänder beſtimmt wurde, ſo daß weder die Weite und Länge der Stimmritze, noch die Länge aufgeſetzter Röhren und des Anblaſerohres auf die Höhe des Tones einen Einfluß hatte. Die Wirkung der Muskeln, durch welche beim lebenden Menſchen die Stimmbänder geſpannt werden, wurde in dieſen Verſuchen durch Gewichte erſetzt, und man konnte durch Abänderung derſelben wohlklingende Töne im Umfange zweier Octaven an einem und demſelben Kehlkopfe hervorbringen. Daß die Stärke des Luftſtromes einen gewiſſen Einfluß auf die Tonhöhe ausüben muß, erhellt daraus, daß durch einen ſtärkern Luftſtrom die Stimmbänder mehr geſpannt werden ſchon ohne Hülfe der Muskeln; daher kann derſelbe Ton in verſchiedener Stärke hervorgebracht werden, entweder bei ſchwächerer Spannung der Stimmbänder und ſtarkem Luftſtrome, oder bei ſtärkerer Spannung und ſchwachem Luftſtrome. Falſettöne entſtehen nach Müller's Meinung dann, wenn durch einen ſchwachen Luftſtrom nicht die ganzen Stimmbänder, ſondern nur ihre vorderen Ränder in Schwingungen verſetzt werden, ſie ſind daher höher, als es ſonſt die ſtattfindende Spannung der Stimmbänder mit ſich bringen würde.

Dieſe Beſtimmungen betreffen aber nur die Höhe des Tones, nicht deſſen Klang und die Hervorbringung articulirter Laute überhaupt, welche durch die

Reſonanz in allen mit dem Stimmorgan verbundenen Theilen und durch die Anordnung und Bewegung von Zunge, Lippen u. ſ. w. auf eine nicht ſo leicht zu erörternde Weiſe hervorgehen. Die Conſonanten beim Sprechen ſind als bloße, durch dieſe Theile hervorgebrachte Geräuſche zu betrachten, die Vocale hingegen, die ihrer Verſchiedenheit im Klange ungeachtet doch der Höhe des Tones nach vollkommen übereinſtimmen können, hängen, wie man deutlich bemerkt, von dem Volumen der in der Mundhöhle mitſchwingenden Luftmaſſe und von der Oeffnung des Mundes ab. Eine Theorie der Vocale hat Willis aufzuſtellen verſucht, indem er von Verſuchen ausging, bei denen durch Verlängerung des Anſatzrohres an einer Zungenpfeife die verſchiedenen Vocale hervorgebracht wurden, wenn die Zunge von hinreichender Maſſe war, um durch dieſe Verlängerungen keine Modification der Tonhöhe zu erfahren.

Fortpflanzung des Schalles im Waſſer.

Den Schwingungen der Luft ſind die Schwingungen tropfbarer Flüſſigkeiten und die Längenſchwingungen feſter Körper im Weſentlichen vollkommen ähnlich. Sie können fortſchreitende oder ſtehende ſeyn und bringen im letztern Falle Längentöne hervor, während ſie im erſteren den Schall nur fortpflanzen, ohne ſelbſt zu tönen. — Vollſtändige und in vieler Hinſicht belehrende Verſuche über die Fortpflanzung des Schalles im Waſſer haben zu wiederholten Malen Colladon und Sturm auf dem Genferſee angeſtellt. Sie bedienten ſich einer im Waſſer hängenden Glocke, die durch einen unter Waſſer befindlichen, aber oberhalb des Waſſers bequem zu regierenden Hebel angeſchlagen wurde, und eines Hörrohrs, das in das Waſſer hinein reichte. Bei dieſen Verſuchen fand ſich nämlich der merkwürdige Umſtand, daß man außerhalb des Waſſers den Schall der Glocke nur in geringer Entfernung gut hörte und daß ſchon in 700 bis 900 Fuß Entfernung der Schall der 2 Fuß hohen und weiten Glocke, die ſich nur in geringer Tiefe unter dem Waſſer befand, ganz unmerkbar wurde; tauchte man das Ohr in das Waſſer, ſo hörte man den Schall, konnte aber dann wegen unbequemer Stellung keine genaue Beobachtung anſtellen. Es ward daher eine unten dicht verſchloſſene Röhre von dünnem Blech, die dem antreffenden Schalle eine Fläche von beinahe 2 Quadratfuß darbot, in das Waſſer eingetaucht, damit durch die an ſie ſenkrecht antreffenden Vibrationen im Waſſer die Röhre und die Luft in ihr erſchüttert werde, und mit dieſem Horchrohre hörte das vor dem Rohre, außerhalb des Waſſers, gehaltene Ohr den Schall der Glocke bis auf 43000 Fuß Entfernung, ja ſogar bei einer großen Glocke bis auf mehr als 100000 Fuß. Da das Anſchlagen des Hammers an die Glocke zugleich mit dem Entzünden einer Pulvermaſſe verbunden war, deren Blitz der mit dem Horchrohre verſehene Beobachter wahrnahm, ſo konnte mit Hülfe eines Chronometers die Zeit, welche der Schall gebrauchte, ſehr gut beobachtet werden, und die Beobachtungen gaben die Geſchwindigkeit des Schalles im Waſſer 4418 Fuß

in 1 Secunde. Dieſe Zahl iſt der theoretiſchen Beſtimmung, die man aus dem Grade der Compreſſibilität des Waſſers hergenommen hat, ſehr nahe entſprechend; denn da das Waſſer der Verdichtung reichlich 20000 mal ſo viel Kraft entgegenſetzt, als die Luft, und doch nur ungefähr 800 mal ſo dicht iſt, als Luft, ſo iſt die beſchleunigende Kraft, mit welcher jedes Waſſertheilchen bei der Fortpflanzung des Schalles zur Bewegung angetrieben wird, ziemlich nahe 25 mal ſo groß, als in der Luft, welches eine fünfmal ſo große Geſchwindigkeit giebt, als ſie ohne die Correction, die wegen der Wärme-Entwickelung nothwendig wird, in der Luft ſeyn würde, und dieſes ſtimmt nahe genug mit jener Zahl überein. [1]

Der merkwürdige Umſtand, daß man den im Waſſer erregten Schall außer dem Waſſer nur dann hört, wenn das Ohr die unter einem ziemlich großen Winkel aus dem Waſſer hervorgehenden Schallſtrahlen empfängt, verdient noch eine beſondre Erwähnung. Offenbar hat dieſe Erſcheinung darin ihren Grund, daß die unter einem ſehr kleinen Winkel an die Oberfläche des Waſſers antreffenden Vibrationen gar nicht mehr oder nur höchſt geſchwächt aus dem Waſſer hervorgehen und dagegen reflectirt in das Innere des Waſſers zurückkehren. Eine ähnliche Erſcheinung zeigen uns die Lichtſtrahlen, die unter ähnlichen Umſtänden auch nicht aus dem dichteren Körper in den dünneren übergehen.

Auf der Reflexion der fortſchreitenden Schwingungen beruht die Möglichkeit, das Waſſer auch in ſtehende Schwingungen zu verſetzen. Man kann dieß dadurch thun, daß man Waſſer durch eine Röhre, die einer offenen Orgelpfeife ähnlich iſt, hindurchpreßt, und mit Hülfe dieſes Verſuches, der ſich nun ebenſo mit andern Flüſſigkeiten anſtellen läßt, kann man aus der Höhe des beobachteten Tones und der Länge der Pfeife auf die Geſchwindigkeit der Fortpflanzung in der ſchon früher erörterten Art ſchließen.

Längentöne und Forpflanzung des Schalles in feſten Körpern.

Ebenſo läßt ſich bei feſten Körpern aus den Längentönen, die durch ſtehende Längenſchwingungen derſelben hervorgebracht werden, die Geſchwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles in ihnen herleiten, und zwar iſt dieſe Beſtimmung der Geſchwindigkeit faſt die einzige durch die Erfahrung zu erlangende, da eine ſo unmittelbare Meſſung, wie in Luft und Waſſer, im Allgemeinen nicht gedacht werden kann. Längentöne erhält man bei Saiten, wenn man mit einerlei Punkten des unter einem ſpitzen Winkel gegen die Richtung der Saite geneigten Bogens auf der Saite hin und her ſtreicht. Noch leichter und recht wohlklingend erhält man Längentöne aus Glasſtäben, indem man eine ziemlich lange Glasröhre oder einen dünnen Glasſtab mit einem feuchten wollenen Lappen der Länge nach reibt, während der Stab in der Mitte zwiſchen zwei Fingern feſtgehalten wird. Indem man den Glasſtab ſo hält, nöthigt man ihn, ſo zu ſchwingen,

[1] Bei genauer Rechnung findet man 4396 par F. als die theoretiſche Geſchwindigkeit bei 0° Wärme.

daß in der Mitte ein Schwingungsknoten ruhend bleibt und die kleinſten Theilchen in der Hauptſache ganz ähnliche Bewegungen und Zuſammendrückungen erfahren, wie die Lufttheilchen in einer offnen Orgelpfeife, die den Grundton angiebt. Spannt man dagegen den Stab am einen Ende feſt ein und reibt am anderen, ſo ſchwingen die Theilchen wie bei einer gedeckten Pfeife, und auch der Ton iſt, wie dort, bei derſelben Länge um eine Octave tiefer. Wird ein Stab um $^1/_4$ ſeiner Länge vom Ende entfernt gehalten und in der Mitte gerieben, ſo erhält er zwei Knoten und giebt die Octave des Grundtons, ferner giebt er die Quinte in dieſer Octave, wenn man um $^1/_6$ vom Ende entfernt hält und ihn dadurch nöthigt, 3 Knoten anzunehmen. Dieſelbe Uebereinſtimmung, die ſich hier auch noch bei weiteren Theilungen mit den offenen Orgelpfeifen darbietet, findet auch zwiſchen den höhern Tönen der gedeckten Pfeifen und den Tönen und Knoten der am einen Ende eingeklemmten Stäbe ſtatt.

Von dem Vorhandenſeyn und der Lage der Schwingungsknoten kann man ſich auch ſehr leicht durch einen Verſuch überzeugen. Hält man eine ziemlich lange Glasröhre horizontal in der Mitte feſt, und hängt auf der einen Hälfte mehrere leichte Papierringe auf, während man durch Reiben mit einem naſſen wollenen Lappen auf der andern Hälfte die Längentöne hervorbringt, ſo ruhen jene Papierringe nur an gewiſſen Stellen, während ſie von den übrigen ſich wegbewegen und erſt an den Stellen, wo Schwingungsknoten ſind, zur Ruhe kommen. Dabei iſt merkwürdig, daß dieſe Punkte der Ruhe ganz anders liegen, wenn man eine andre Seite der Röhre nach oben oder mit den aufhängenden Ringen in Berührung bringt. Sand, in nicht zu enge Röhren gebracht, zeigt, daß die Knotenlinien eine ſchraubenartig gewundene Geſtalt haben, daß aber das äußerliche Anſehen der Glasröhre nichts darbietet, woraus man ſchließen könnte, warum die Knoten in der anſcheinend gleichen Röhre hier an der einen, dort an der andern Seite liegen. Am regelmäßigſten iſt die Anordnung der Knotenlinien auf ſchmalen, dünnen Glasſtreifen, indem dort die graden Knotenlinien der einen Seite mitten zwiſchen die der andern Seite hineinfallen, wie man ſich überzeugen kann, wenn man ihre Lage auf der einen Seite bezeichnet und dann die andre Seite nach oben kehrt, um ſie auch mit Sand zu beſtreuen. Mit welcher Heftigkeit bei allen dieſen Schwingungen die Theile ſich bewegen, zeigt beſonders ein von Weber angegebener Verſuch. Wenn man nämlich eine Glasröhre am untern Ende mit einem genau ſchließenden Stöpſel verſchließt, die Röhre zum Theil mit Waſſer füllt und ſie vertical hält, ſo ſteigt, indem man die Längentöne hervorbringt, jener Stöpſel in der Röhre herauf und hebt die über ihm ſtehende Waſſerſäule. Iſt die Röhre ganz mit Waſſer gefüllt und auch oben mit einem Stöpſel verſchloſſen, ſo drängt ſich das Waſſer in feinen Strahlen hervorſpringend heraus. Luftbläschen, die im Waſſer enthalten ſind, zeigen gleichfalls die Erſchütterung, welche die Theilchen des Körpers bei den Längenſchwingungen leiden.

Dieſe Längentöne ſind bei Körpern von verſchiedener Materie höchſt verſchieden, wenn auch die Länge der Stäbe gleich iſt; auf die Dicke des Stabes, der jedoch nie ſehr groß werden darf, kömmt es nicht an; nimmt man aber ungleich lange, aus einerlei Materie beſtehende Stäbe, ſo iſt die Schwingungszahl für den tiefſten Ton der Länge umgekehrt proportional.

Aus dieſer Uebereinſtimmung mit den Schwingungen in Orgelpfeifen ergiebt ſich unmittelbar, daß die ſtehende Längenſchwingung eines in der Mitte gehaltenen Stabes genau ſo viel Zeit fordert, als die fortſchreitende Schwingung braucht, um den Stab hin und zurück, alſo zweimal zu durchlaufen, und damit haben wir ein Mittel, um die Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalles in feſten Körpern zu beſtimmen. Ein in der Mitte gehaltener Silberſtab von 1 Fuß Länge giebt einen Ton, der 4620 volle Schwingungen in der Secunde macht und dem fünfmalgeſtrichenen d ſehr nahe liegt. Da nun die Schallwelle während jeder Schwingung 2 Fuß durchläuft, ſo iſt ihre Geſchwindigkeit im Silber 9240 Fuß in einer Secunde, oder 9 mal ſo groß als in der Luft, wie man auch daraus hätte ſchließen können, daß der erhaltene Ton des Silberſtabes 3 Octaven und einen Ton höher iſt, alſo 9 mal ſo viele Schwingungen macht, als der einer gleich langen offnen Pfeife. Durch ähnliche Verſuche hat man die Geſchwindigkeit des Schalles in vielen feſten Körpern beſtimmt und ſie unter andern im Holze 13—14 mal, im Kupfer 12 mal, im Glaſe 17 mal ſo groß als in der Luft gefunden. In einzelnen Fällen gelang es, dieſe Geſchwindigkeit direct wenigſtens einigermaßen zu meſſen. So beobachtete Biot, daß durch eine metallene Röhrenleitung von 2800 Fuß Länge der Schall doppelt gehört wurde, indem der im Metall fortgepflanzte Schall dem in der Luft fortgepflanzten um ¼ Secunde vorauseilte.

Bei der Fortpflanzung des Schalles in feſten Körpern findet im Allgemeinen eine geringere Schwächung deſſelben ſtatt, als in der Luft, und am deutlichſten tritt dieß hervor, wenn man lange Stäbe anwendet, weil in dieſen die Fortpflanzung nur nach einer Richtung geſchieht, ohne daß eine Ausbreitung möglich iſt. Wenn man an eine ziemlich entfernt liegende Taſchenuhr einen langen Stab von Holz oder Metall hält und das andre Ende an das Ohr bringt, ſo hört man den Schlag der Unruhe viel lauter, als durch die Luft; bildet man zwei einander berührende Stäbe zu einem Winkel und läßt den einen die Uhr berühren, ſo glaubt man den Schall, nachdem er beide Stäbe durchlaufen hat, nach der Richtung des letzten zu hören. — Wenn man einen ſilbernen Löffel oder dergleichen an einen Faden bindet und das andre Ende des Fadens ins Ohr drückt, während der hängende Körper durch Anſchlagen zum Tönen gebracht wird, ſo hört man durch den Faden einen Ton, der dem einer Glocke nicht unähnlich und viel ſtärker iſt, als der durch die bloße Luft gehörte. Bekannt iſt ferner die Erfahrung, daß man in der Nacht wenigſtens das Geräuſch herankommender Menſchen und Pferde beſſer hört, wenn man das Ohr an die Erde legt.

Mittheilung ſtehender Schwingungen. Reſonanz.

So wie wir bei der Ausbreitung der Schallwellen in der Luft ſahen, daß nur in freier Luft ſich reine fortſchreitende Schwingungen bilden, daß dagegen in eingeſchloſſenen Luftmaſſen durch die Reflexionen an den Wänden ſtehende Schwingungen entſtehen, ſo geſchieht dieß auch bei feſten Körpern, wenn ſie nicht zu ausgedehnt oder unelaſtiſch ſind, und es muß dann ein feſter Körper, der mit einem tönenden verbunden iſt, nicht allein deſſen Ton an entfernten Punkten hörbar machen, ſondern ihn auch verſtärken, indem er ſelbſt mit in ſtehende Schwingungen geräth. Von dieſer Reſonanz oder dem Mittheilen ſtehender Schwingungen an verbundene feſte Körper kann man ſich am beſten durch die Sandfiguren überzeugen. Wenn man mehrere dünne, gleichgeſtaltete Holzſcheiben unter einander parallel an einem Stabe befeſtigt und mit Sand beſtreut, ſo geht beim Streichen der oberſten auf allen dieſelbe Klangfigur hervor. Ebenſo ſieht man Klangfiguren entſtehen, wenn der Steg einer tönenden Saite auf einem mit Sand beſtreuten Reſonanzboden aufruht, und zwar entſtehen hier verſchiedene Figuren bei verſchiedenen Tönen; beſonders aber kann man ſolche Klangfiguren durch Reſonanz bequem mit der Stimmgabel hervorbringen. Schraubt man nämlich eine zu Hervorbringung von Klangfiguren geeignete Metall- oder Holzplatte in ihrer Mitte feſt, ſtellt die mit der Hand gehaltene Stimmgabel mit dem Stiele ſenkrecht auf die Scheibe, und bringt durch Streichen mit dem Violinbogen die Töne der Stimmgabel hervor, ſo ſieht man den Sand auf der Scheibe ſich in beſtimmte Figuren ordnen. Dabei tritt aber eine doppelte Sonderbarkeit ein. Wenn man die Stimmgabel zuerſt unaufgeſtützt frei hält und ihren tiefſten Ton hervorbringt, ſo hört man dieſen bekanntlich ſchwach und erſt dann ſehr verſtärkt, wenn ſie auf der Scheibe als Reſonanzboden aufgeſetzt iſt; gleichwohl zeigt der Sand nur höchſt ſchwache Bewegungen und ordnet ſich bei anhaltendem Wiederholen dieſes Tones erſt ſehr langſam in unvollkommene Klangfiguren. Bringt man dagegen, indem man die Gabel etwas oberhalb der Mitte ſtreicht, den zweiten Ton hervor, ſo wird dieſer, wie ſchon Weber bemerkt hat, durch den Reſonanzboden gar nicht verſtärkt, ſondern hört, wenn man ihn nicht immer neu erregt, bald ganz auf; aber eben dieſer Ton bringt auf eine höchſt ſchnelle Weiſe den Sand in rein ausgeführte elegante Klangfiguren. Hat ſich der Sand dieſem Tone gemäß geordnet und berührt man die Scheiben in mehrern Stellen der nun bezeichneten Schwingungsknoten, ſo kann man, indem man die Scheibe ſelbſt in paſſenden Punkten mit dem Bogen ſtreicht, eben den Ton erhalten, welchen vorhin die Stimmgabel angab. Streicht man die Stimmgabel ſo, daß ſie ihren dritten Ton angiebt, ſo erhält man eine andre, feiner getheilte Klangfigur, die aber auch ſehr ſchnell hervorgeht, wenn nur der Ton recht rein aushallt. Wenn es alſo gleich ſcheint, als ob der Reſonanzboden nicht geeignet ſey, um durch ſein eignes Vibriren die ſehr hohen Töne zu verſtärken, ſo ſieht man dennoch, daß er darum doch nicht ohne Theilnahme an den Vibrationen bleibt.

Aus Savart's Unterſuchungen über dieſe Mittheilung ſtehender Schwingungen ſcheint als ganz allgemein gültig hervorzugehen, daß die Schwingungen verbundener Körper ſich gegenſeitig modificiren, wenn, wie dieß bei Stäben der Fall iſt, jeder von beiden Körpern für ſich nur beſtimmte Töne geben kann, daß ferner die Richtung, in der die kleinſten Theilchen ſich hin und her bewegen, in allen verbundenen Körpern dieſelbe iſt. Wenn man daher auf eine paſſend unterſtützte Scheibe oder einen Stab einen andern am beſten gläſernen Stab ſenkrecht auffittet und ihn in Längenſchwingungen verſetzt, ſo geräth der andre unter rechten Winkeln damit verbundene Körper in transverſale Schwingungen; verſetzt man umgekehrt den letztern mit einem Violinbogen in transverſale Schwingungen, ſo macht der erſtere durch Mittheilung longitudinale Schwingungen und ſo in ähnlichen Fällen.

Die Reſonanz wirkt bei allen muſicaliſchen Inſtrumenten ſehr nützlich, indem ſie dem Tone ſeine Stärke und großentheils ſeinen Klang giebt. Wie wichtig in dieſer Beziehung die Reſonanz iſt, zeigt erſtens jede Stimmgabel, deren tiefſten Ton man faſt gar nicht hört, wenn man die Gabel nicht auf irgend einen der Reſonanz fähigen Körper aufſetzt, ferner ein Verſuch von Wheatſtone, der den Ton eines Fortepiano's durch eine Holzverbindung zu dem Klangbrete einer bedeutend entfernten Harfe fortleitete und ihn dort ganz deutlich vernahm. Bei allen Saiteninſtrumenten, deren Töne an und für ſich ſehr ſchwach ſeyn würden, wird darum ein beſonderer Reſonanzboden hinzugefügt, und vor allen die Violinen verdanken ihren ſtarken Ton der ſehr zweckmäßigen Verbindung und Geſtalt zweier Reſonanzböden. Merkwürdig iſt die Fähigkeit, die ein ſolcher Reſonanzboden beſitzt, die mannigfaltigſten Töne zugleich zu verſtärken. — Bei Inſtrumenten mit tönender Luftſäule dient die Röhrenwand als Reſonanzboden, und man fühlt die Schwingungen derſelben ſehr deutlich in der daran gehaltenen Hand; daher hängt Stärke und Klang des Tones gar ſehr von der Dicke und dem Material der Wände der Röhre ab.

Auch durch die bloße Vermittelung der Luft können andere Körper, beſonders geſpannte Saiten und Membranen mit in ſtehende Schwingungen verſetzt werden, wobei der leicht erklärliche Unterſchied ſtatt findet, daß Saiten nur bei einzelnen Tönen mittönen, nämlich wenn ſie fähig ſind, ebenſo ſchnell zu ſchwingen, als der tönende Körper, daß hingegen Membranen bei jedem hinreichend ſtarken Tone mit in Schwingungen gerathen, weil ſie fähig ſind, durch eine Abänderung in der Lage ihrer Knotenlinien Schwingungen von allen möglichen Geſchwindigkeiten zu vollenden. Man nimmt dieſe mitgetheilten Schwingungen unter andern ſehr deutlich wahr, wenn man Sand auf eine geſpannte Membran ſtreut und dann in der Nähe eine Orgelpfeife anbläſt oder eine Glocke zum tönen bringt. — Das Mitſchwingen gleichgeſtimmter Saiten läßt ſich am einfachſten durch darüber gehängte Papierſtücke nachweiſen, die dann durch die Schwingungen abgeworfen werden.

Das Gehörorgan.

Durch dieſe Einwirkung auf Membranen wird einigermaßen die, freilich in vielen weſentlichen Punkten noch dunkle, Einrichtung des Gehörorgans erklärt, mit deren Beſchreibung ich die Acuſtik beſchließen will. Daß die äußere Erweiterung der an den Gehörgang ſich anſchließenden Muſchel des äußern Ohres dazu beitragen ſoll, mehr Schallſtrahlen aufzunehmen und dem innern Ohre zuzuführen, iſt wohl gewiß; aber ſelbſt hier ſchon möchte es ſchwer ſeyn, anzugeben, warum das menſchliche Ohr genau dieſe Bildung haben mußte. Daß dieſes äußere Ohr nicht ein harter, zum Selbſttönen geeigneter Körper iſt, davon läßt ſich wohl der Grund darin finden, daß ein ſolcher Körper ein Nachtönen bewirken und dadurch das reine Auffaſſen jedes einzelnen Lautes hindern würde, ſo wie ja auch das ſo oft angewandte metallene Hörrohr, eine ſich nach außen erweiternde Röhre, manchem Schwerhörigen wegen dieſes Nachtönens läſtig iſt.

Der Gehörgang ſchließt ſich an die Muſchel an und iſt hinten durch eine elaſtiſche Haut, das Trommelfell, geſchloſſen, welche offenbar dazu da iſt, um durch die zum Ohre gelangenden Vibrationen der Luft ſelbſt in Vibrationen verſetzt zu werden. Hinter dem Trommelfelle liegt die Trommelhöhle, in welcher ſich eine Verbindung von zarten Knöchelchen, dem Hammer, dem Ambos und dem Steigbügel, befindet. Der Hammer iſt mit ſeinem einen Ende an das Trommelfell befeſtiget und geräth folglich mit in Vibrationen, wenn jene elaſtiſche Haut erſchüttert wird; der Ambos ſteht durch eine Art von Gelenk mit dem Hammer in Verbindung und iſt durch das linſenförmige Knöchelchen mit dem Steigbügel verbunden, deſſen unterer Theil (gleichſam der Tritt, auf dem im Steigbügel der Fuß ruht) das ovale Fenſter ſchließt. Dieſe feine Maſchine iſt ſo verbunden, daß bei den Vibrationen des Trommelfelles auch der Steigbügel in Bewegung geräth und in die Oeffnung des ovalen Fenſters, worein er genau paßt, etwas herein- und heraustreten kann, indem die Haut, die ihn mit den umgebenden Rändern des Fenſters verbindet, dieſes geſtattet. Dieſe Verbindung zeigt nun wohl, daß die jenſeits des ovalen Fenſters in den Höhlungen des Labyrinthes enthaltene Flüſſigkeit durch jene Vibrationen erſchüttert werden ſoll und daß die Vibrationen ſo den in das Labyrinth eintretenden Nerven zugeführt werden ſollen; aber warum die Anordnung ſo künſtlich und zuſammengeſetzt ſey, wozu die halbkreisförmigen Kanäle dienen, welche Beſtimmung die Schnecke, ein ſpiralförmig gewundener, noch in zwei getrennte Gänge abgeſonderter Kanal, habe, — das iſt noch völlig unaufgehellt. Die Euſtachiſche Röhre, die von der Trommelhöhle nach dem Munde zu geht, ſcheint nur beſtimmt, die in der Trommelhöhle enthaltene Luft mit der äußern in Verbindung zu ſetzen, und die Luft in der Trommelhöhle dient, um noch auf einem zweiten, weniger vollkommenen Wege den Schall nach dem Labyrinthe fortzupflanzen, indem ſich an letzterem noch eine zweite, mit einer Haut überſpannte Oeffnung, das ſogenannte runde Fenſter, befindet; durch die

Luft der Trommelhöhle werden nun die Schwingungen dem runden Fenſter und durch dieſes der Flüſſigkeit im Labyrinthe mitgetheilt. Die Fähigkeit des Ohres, daß es bei zu ſtarken Erregungen ſeine Empfindlichkeit ſelbſt abſtumpft, ſcheint entweder darauf zu beruhen, daß ſich dann das Trommelfell ſtärker ſpannt und darum keine ſo weiten Schwingungen macht, oder daß der Steigbügel ſich etwas vom ovalen Fenſter zurückzieht und alſo auf dieſem Wege den Schall weniger vollſtändig oder gar nicht zum Labyrinthe gelangen läßt.

Wenn man überlegt, wie viel das Gehör leiſten ſoll, ſo erhellt wohl, daß dazu mancherlei Theile nöthig ſeyn mögen, und daß wir erſt die Mittel, die zur Erreichung jener einzelnen Zwecke dienen können, noch näher kennen lernen müſſen, ehe die Einrichtung des Ohres uns verſtändlich werden kann. Denn das Ohr ſoll nicht bloß die Schallwellen aufnehmen und fortpflanzen, ſondern es ſoll außer der Zahl der Vibrationen, die den Ton beſtimmt, auch noch die Eigenthümlichkeiten des Klanges der Empfindung überliefern; es ſoll mehrere Schallwellen zugleich empfangen und im geſunden Zuſtande ſie alle, vorausgeſetzt, daß kein betäubend ſtarker Laut darunter ſey, unvermiſcht dem Gehörnerven zuführen u. ſ. w. Es iſt ein bei der Schwerhörigkeit nicht ſelten auffallender Umſtand, daß ganz vorzüglich das Unterſcheiden der einzelnen Laute, wenn mehrere zugleich das Ohr treffen, erſchwert iſt, und daß der Schwerhörige ſich daher mit einer einzelnen Perſon leicht unterhält, aber zwiſchen anderm Geräuſche, oder wenn mehrere zugleich ſprechen, die Worte, die er zwiſchen den übrigen heraus wahrnehmen will, nicht ſo wie bei geſundem Ohre heraushören kann. Daß einige Menſchen, wie Wollaſton bemerkt, die ſehr hohen und ſcharfen Töne nicht wahrnehmen, ließe ſich vielleicht daraus, daß nicht jede Membran eine Reſonanz ſo hoher Töne giebt, erklären, indem vielleicht auch das Trommelfell, von deſſen Reſonanz doch wohl das Empfinden der Töne abhängt, hier Grenzen der Empfänglichkeit darbietet. Woher bei einigen Perſonen die Unfähigkeit rührt, die Höhe und Tiefe der Töne zu unterſcheiden, da ſie doch ſonſt gut hören, iſt ebenfalls unerklärt.

Als eine bekannte Sache darf ich wohl noch erwähnen, daß auch die Knochen des Kopfes zum Hören mitwirken, daher manche Schwerhörige durch einen an den Kopf gehaltenen Stab ſich in Verbindung mit dem Gegenſtande ſetzen, von welchem der Schall ausgeht. Nach E. Weber's ſchöner Bemerkung geht hier der Schall nicht durch den Gehörgang, ſondern gelangt auf anderm Wege zu den Gehörnerven; denn wenn man eine tönende Stimmgabel mit dem Stiele auf den Kopf ſetzt, während man ein Ohr mit dem Finger verſtopft, ſo hört man den Ton der Stimmgabel grade mit dieſem Ohre am lauteſten.

Ueber die Richtung, woher ein Schall kömmt, bleiben wir ſehr oft in Ungewißheit. Dieſe Unſicherheit, die durch die vielfältigen, faſt überall vorkommenden Zurückwerfungen des Schalles vermehrt wird, macht es dem

Bauchredner möglich, die Täuſchung hervorzubringen, als ob eine andre Perſon rede. Indem er nämlich, ohne den Mund zu öffnen und ohne die Lippen zu bewegen, Worte hervorbringt, fehlt uns das gewöhnliche Mittel, uns zu überzeugen, daß dieſe Perſon ſelbſt die redende ſey; und wenn der Bauchredner, aufmerkſam nach einem beſtimmten Orte hinblickend, dorthin zu horchen ſcheint, ſo bringt er leicht die Täuſchung, als ob dort ein andrer rede, hervor. Spricht er nun ſogar abwechſelnd auf die gewöhnliche Weiſe und antwortet mit einem dumpfen, wie aus der Ferne ſchallenden Tone, ſo entſteht die nicht leicht zu beſiegende Täuſchung, als ob das Geſpräch ſo zwiſchen dem Bauchredner und einem andern ſtatt finde, wie er es uns will glauben machen. Es ſcheint, daß der Umſtand, daß die hervorgebrachte Stimme nicht ſo beſtimmt von einem Punkte ausgeht, wie bei dem Gebrauch der gewöhnlichen Sprachorgane, jene Wirkung befördern hilft.

Fünfundzwanzigſte Vorleſung.

Wir fanden uns veranlaßt, von der Betrachtung derjenigen Naturerſcheinungen auszugehen, bei denen auf irgend eine Art die unmittelbar wahrgenommene Bewegung oder Ruhe der der Schwerkraft unterworfenen Körper in Frage kam; ehe ich nun dieſes Gebiet ganz verlaſſe, um zu Erſcheinungen überzugehen, die durch Bewegungen unwägbarer Stoffe bedingt werden, kann ich nicht umhin, noch einige Wirkungen näher zu betrachten, welche die Atome der wägbaren Stoffe auf einander ausüben. Ich habe dieſe Gegenſtände bis hieher aufgeſpart, weil ſie uns zum Theil über die Gränzen der eigentlichen Phyſik hinausführen und alſo nicht den Zuſammenhang der vorigen eng verbundenen Lehren unterbrechen durften.

Die Atome der Körper üben mannigfaltige Anziehungen auf einander aus, deren Wirkungen wir zum Theil ſchon kennen lernten, und unter denen die allgemeine Gravitation vorangeſtellt zu werden verdient. Sie bewirkt, daß die einzelnen Atome aller, auch der verſchiedenartigſten, Materien ſich gegenſeitig mit einer Kraft anziehen, die dem Quadrate ihrer Entfernung von einander umgekehrt proportional iſt, und wir ſahen, wie durch dieſe Gravitation die Bewegungen der Planeten, die Bewegungen fallender Körper u. ſ. w. ſich erklären laſſen, ja daß ſogar vermittelſt der Drehwaage die ſchwache Anziehung gemeſſen werden kann, welche irgend eine Metallmaſſe vermöge der Gravitation auf die umgebenden Körper ausübt. Um ähnliche Anziehungswirkungen bei leichteren Körpern in ſehr geringen Abſtänden wahrnehmbar zu machen, hat Girard eine eigne Reihe von Verſuchen angeſtellt, bei denen freilich mit dieſer Anziehung ſich noch andre Wirkungen vermiſchten und den Erfolg verſtärkten. Dieſe Verſuche wurden mit Glasflächen, die an Fäden von 80 Linien Länge pendelartig aufgehängt waren, angeſtellt, und es wurde die Zeit ihrer Schwingungen beobachtet, wenn die eine Glasfläche der andern ſehr nahe gebracht

war. Um dieſe Verſuche ganz zu überſehen, ſtellen Sie ſich (VI. Fig. 1) zwei ebne Glasplatten A B, C D vor, die man im Waſſer einander ſehr nahe bringen kann. Sie ſind an den Fäden A E, C F ſo aufgehängt, daß ſie Pendelſchwingungen machen können, ſobald man die 80 Linien entfernten Enden E, F nach e oder f verſchiebt und dann die Platten, welche man bis dahin in ihrer Lage feſtgehalten hat, frei läßt. Damit die Wirkung der Schwere hier gering ſey und die Pendelbewegung langſam genug, um gut beobachtet zu werden, ſtatt finde, werden die Glasplatten mit Korkſtücken verbunden, wodurch ſie ein nur ſehr wenig größeres ſpecifiſches Gewicht als das Waſſer behalten; bei dieſer geringen Einwirkung der Schwere werden nun, behauptet Girard, die Einwirkungen der einen Glasplatte auf die andre merklich. Man bringt nämlich die beiden Glasplatten einander ſo nahe, daß nur noch ein dünner Silberfaden zwiſchen ihnen Platz hat, ſchraubt, während die Glasplatten noch in ihrer Entfernung erhalten werden, (VI. Fig. 2) F nach f, zum Beiſpiel in einem der Verſuche 4½ Lin. (ein Centimeter) weit, läßt dann die Platte C D frei und beobachtet die Zeit ihres erſten Pendelſchwunges. Statt daß nun dieſe erſte Schwingung 91 Secunden gebrauchte, wenn der Silberfaden die Platten in 1/9 Linie Entfernung erhalten hatte, ſo betrug die Zeit 217 Secunden, wenn dieſe Entfernung nur 7/100 Linie geweſen war, und 440 Secunden, wenn die Entfernung nur 1/40 Linie betragen hatte. Stellen Sie ſich nämlich in Fig. 2 dieſe kleinen Bewegungen ſtark vergrößert vor, ſo iſt in dem Augenblicke, wo die Platte C D ihre Bewegung anfängt, der Faden C f ſeitwärts abgelenkt; die Platte C D ſollte alſo, weil ſie doch um etwas weniges ſpecifiſch ſchwerer als Waſſer iſt, eine langſame Pendelbewegung anfangen; aber die anziehende Kraft der Platte A B und des zwiſchen beiden durch die ausgeübte Anziehung verdichteten Waſſers hält C D zurück, bewirkt alſo, daß die Zeit der erſten Oſcillation länger wird. Nach Girard's Beſchreibung bemerkt man dieſe zurückgehaltene Bewegung auch an der Art, wie die Bewegung erſt nach ſehr langer Zeit merklich wird. War ein ſo ſehr dünner Silberdrath von 1/20 oder 1/40 Linie Dicke zwiſchen die Platten gelegt, ſo ſchien die frei gelaſſene Platte ſich anfangs gar nicht zu bewegen, aber nach einer erheblichen Zeit ſah man doch, daß während dieſer höchſt langſamen Fortrückung der Abſtand zugenommen hatte und daß die noch immer durch die andre Platte zurückgezogene Platte allmälig ſchneller fortrückte. Erſt wenn der Abſtand ungefähr 1 Linie wird, ſcheint die Platte ſich der anziehenden Kraft der andern zu entreißen und nimmt eine ſchnellere Bewegung an.

Die an ſich einfachen Geſetze der Gravitation reichen (vielleicht nur deswegen, weil wir die innere Beſchaffenheit der Materie nicht kennen) nicht mehr aus, um die Anziehungen zu erklären, welche die Atome in unmeßbar kleinen Entfernungen ausüben, und die ſich in der Feſtigkeit oder Cohäſion der Körper und in der Adhäſion zu erkennen geben. Die Cohäſion zeigt, daß die gleichartigen Atome einer und derſelben Materie ſich gegenſeitig anziehen; ſie wirkt zwar in den ſtarren Körpern am ſtärkſten, aber auch bei den flüſſigen iſt dieſe

Kraft des Zuſammenhanges hinreichend merkbar, und ſogar bei den luftförmigen Körpern ſind wir nicht berechtigt ihr Vorhandenſeyn zu leugnen, nur können wir ſie hier nicht beobachten, da wir die Luftarten nur in zuſammengedrücktem Zuſtande kennen. Unter Adhäſion verſteht man im Allgemeinen die ſchwache Anziehung, welche die Atome verſchiedenartiger Materien, ohne ſich zu vereinigen, gegen einander ausüben, und da Erſcheinungen der Cohäſion und Adhäſion auf die mannigfaltigſte Art bei allen Körpern vorkommen, ſo bietet ſich von ſelbſt die Anordnung der Betrachtung dar, daß zuerſt die Wirkungen ſtarrer Körper gegen ſtarre und flüſſige, ſodann die der flüſſigen gegen flüſſige und zuletzt diejenigen erörtert werden, bei denen luftförmige Körper mit vorkommen.

Cryſtalliſation. Cohäſion und Adhäſion ſtarrer Körper.

Daß ſtarre Körper nicht allein in ſehr kleine Theile getrennt werden, ſondern ſich bisweilen auch aus dieſen Theilchen wieder zuſammenſetzen können, wenn dieſelben einander hinreichend nahe kommen, um ihre Anziehungen gegenſeitig auf einander auszuüben, geht aus mancherlei Erfahrungen hervor. Sehr auffallend zeigt ſich dieſe Einwirkung gleichartiger Atome beim Ausſcheiden feſter Körper aus flüſſigen Auflöſungen, beſonders bei der Cryſtalliſation, wo das Wiederkehren derſelben regelmäßigen Form, wenn derſelbe Stoff cryſtalliſirt, uns faſt nöthigt, auf eine jedem Stoffe eigenthümliche und nach verſchiedenen Richtungen verſchieden wirkende Anziehung der Atome zu ſchließen, was auch darin einige Beſtätigung findet, daß die meiſten Cryſtalle auch in verſchiednen Richtungen eine verſchiedne Härte, verſchiedne Elaſticität und verſchiedne Einwirkungen auf das Licht zeigen. Selbſt in dem Innern mancher Körper, die uns gewöhnlich keine cryſtalliniſche Bildung verrathen, findet dieſe, in vielen Fällen wenigſtens, ſtatt, und ſie tritt oft bei der Auflöſung ſo hervor, daß einige Theile des feſten Körpers, eines Metalles zum Beiſpiel, leichter aufgelöſt werden und einen cryſtalliniſch geformten Körper übrig laſſen. Einer der bekannteſten und leicht anzuſtellenden Verſuche, der ſolche Cryſtallformen, wenn auch nur unvollkommen, zeigt, iſt die Darſtellung des ſogenannten Metall-Moors (Moiré métallique), wo man eine recht rein abgewaſchene Tafel verzinnten Eiſenbleches mit einer verdünnten Salpeterſäure übergießt oder benetzt und in kurzer Zeit die mannigfaltigen bald baumartigen, bald anders geformten, cryſtalliniſchen Gefüge hervorgehen ſieht, deren Schönheit man durch örtliche Erhitzung auf der andern Seite des Bleches befördert. Die Cryſtallformen, die man hier hervortreten ſieht, ſind diejenigen, welche das Zinn durch die Erſtarrung beim Verzinnen des Bleches angenommen hat, die aber ohne jene Einwirkung der Säure unſerm Auge unkenntlich geblieben wären. Eine ähnliche Cryſtallbildung in Körpern, die ſie gewöhnlich nicht zeigen, kann man erhalten, wenn man bei Schmelzung durch Wärme die beim Erkalten entſtandene Rinde durchſtößt, ehe noch die innern Theile erhärtet ſind, indem dann durch das Ausfließen des noch unerhärteten Körpers die bis dahin entſtandene Cryſtallbildung frei liegend wird.

Die Bildung der Salzcryſtalle, ſie mögen nun beim Abdampfen oder beim Erkalten in den Fällen, wo die kalte Auflöſung nicht ſo viel Salz als die warme enthält, entſtehen, iſt im Allgemeinen bekannt genug. Die Cryſtalle bilden ſich deſto größer aus, je langſamer die Zurückführung in den feſten Zuſtand ſtatt findet, und je mehr die Flüſſigkeit dabei in Ruhe bleibt. Merkwürdig iſt dabei, daß, ſo weit unſere Beobachtungen gehen, die Geſtalt der Cryſtalle gleich vom kleinſten Anfange an dieſelbe iſt, wie bei der nachherigen Vergrößerung, und daß man die Ausbildung dieſer Form ſelbſt unter dem Microſcop nicht eigentlich verfolgen kann.

Welche Kräfte wir uns hier als wirkend denken und was für Eigenſchaften die kleinſten Theilchen beſitzen müſſen, um ſich gerade in ſo beſtimmter Ordnung an einander anzulegen, das ſcheint dem Scharfſinn der Naturforſcher noch ganz und gar ein Räthſel zu ſeyn. Aber ſelbſt über das näher Liegende, über die verſchiedenen Formen, die bei der Cryſtalliſirung ſtatt finden, über die ſyſtematiſche Ueberſicht dieſer Cryſtallformen u. ſ. w. kann ich Sie hier nicht unterhalten, weil der Gegenſtand viel zu weitläuftig iſt, um hier eingeſchaltet zu werden, und in der That die Cryſtallographie zu einer ziemlich ſchwer zu überſehenden, ausgedehnten Wiſſenſchaft geworden iſt. Nur die Bemerkung mag hier noch Platz finden, die Hauy zuerſt als Begründung einer wiſſenſchaftlichen Cryſtallographie gemacht hat, daß aus einerlei Grundform ſehr ungleiche Cryſtalle durch bloße Zuſammenſetzung aus jener hervorgehen können.

Die Cryſtalle laſſen ſich in gewiſſen Richtungen ſehr leicht, in andern Richtungen ſchwer zerlegen, und bieten daher natürliche Durchgangsſchichten (Blätterdurchgänge) dar. Wenn man dieſe Blättchen nach und nach abhebt, ſo findet man ſie nicht allemal den Seitenflächen parallel, ſondern ſie können zum Beiſpiel bei einem pyramidaliſch zugeſpitzten Theile gar wohl gegen die Axe dieſer Pyramide ſenkrecht ſeyn, ſtatt daß ſie in andern Fällen den Oberflächen parallel ſind. Betrachtet man dieſe natürlichen Schichten des Cryſtalles als aus lauter gleichen regelmäßigen Körpern beſtehend, die man integrirende Theilchen genannt hat, ſo können alle dieſe über einander liegenden Schichten entweder ſämmtlich aus einer gleichen Anzahl ſolcher Theilchen beſtehen, und dann bleibt jede folgende Schicht, alſo auch die die letzte Oberfläche bildende gleich groß, die Oberfläche ſelbſt iſt den Schichten parallel; oder dieſe Schichten beſtehen nach der Längenrichtung aus immer gleich vielen Theilchen, während ihre Zahl nach der Querrichtung abnimmt; dann bilden dieſe immer ſchmäleren, endlich bis zu einer bloßen einfachen Reihe von Theilchen abnehmenden Schichten eine dachförmige Geſtalt; oder die Schichten nehmen zugleich an Länge und Breite ab, bis ſie ſich in eine Spitze endigen und eine Pyramidenform hervorbringen. Dieß reicht hin, um einen Begriff von den ungleichen Geſtalten zu geben, die aus gleichen integrirenden Theilchen hervorgehen können, und um obenhin zu überſehen, daß die Mannigfaltigkeit der Formen theils nach der Verſchiedenheit der integrirenden Theilchen, theils nach dieſem Geſetze der

Zuſammenſetzung ſehr groß ſeyn kann; daß aber beſtimmte integrirende Theilchen doch nur beſtimmte Formen geben können, und daher gewiſſe Körper zwar zu verſchiedenen Cryſtallformen, aber doch nur zu denen, die einer einzigen Art integrirender Theilchen entſprechen, geneigt ſind. Ein Beiſpiel von der einfachſten Art wird dieß deutlich machen. Wenn man ſehr kleine Würfel ſo auf und an einander ſchichtet, daß alle Schichten zehn Reihen in der Länge und zehn Reihen in der Breite haben, ſo gelangt man durch zehn Schichten zu einem großen Würfel, der tauſend jener kleinen Würfel enthält, und der Würfel, Cubus, iſt alſo eine der Cryſtallformen, die aus jenen Würfelchen hervorgehen können. Aber nun laſſe man auf jede aus hundert Würfelflächen gebildete Seite des Würfels eine Schicht von 9 mal 9, auf dieſe eine Schicht von 8 mal 8, von 7 mal 7, von 6 mal 6 Würfeln ſo aufgeſetzt ſeyn, daß die Seitenreihen jedesmal frei bleiben, ſo entſteht auf jeder Würfelſeite eine vierſeitige Pyramide, und bei dem angenommenen Geſetze findet ſich, daß die Ebenen s O I, t O I eine einzige vierſeitige Seitenfläche bilden (VI. Fig. 18), und daß dieß an allen Seiten ſo der Fall iſt. Bei dem Uebereinanderſchichten mit gleichmäßiger Abnahme hat ſich alſo aus Würfeln ein regelmäßiger Cryſtall mit 12 gleichen Seitenflächen gebildet; denn die vier Seitenflächen, die über jeder der 6 Würfelflächen entſtanden, würden 24 dreiſeitige Flächen geben; da aber immer zwei derſelben ſich zu einer vierſeitigen vereinigen, ſo hat der Körper 12 gleiche vielſeitige Seitenflächen.

Schwieriger läßt ſich die Entſtehung zuſammenhängender feſter Körper aus ſehr feinen einander hinreichend nahe gebrachten Theilchen bei nicht cryſtalliniſchen Korpern nachweiſen; jedoch kennt man wenigſtens einzelne Fälle, in denen feine metalliſche Pulver durch ſtarken Druck zu einer zuſammenhängenden Maſſe vereinigt werden, unter andern hat Oſann hierauf ein Verfahren gegründet, um von Münzen und dergleichen Gegenſtänden ſehr vollkommene Abdrücke zu erhalten. Wenn man aus einer Löſung von Kupfervitriol durch hineingeworfenes Sodapulver kohlenſaures Kupferoxyd fällt und dieſes dann durch Waſſerſtoff reducirt, ſo erhält man reines metalliſches Kupfer in Form eines äußerſt fein zertheilten Pulvers, und wenn man mit dieſem Pulver die auf dem Boden einer eiſernen Röhre angebrachte Münze bedeckt, ſo läßt ſich mittelſt ſtarken Druckes, am beſten durch einen Stempel, auf welchen mit dem Hammer geſchlagen wird, das Pulver zu einer zuſammenhängenden Maſſe vereinigen, die zugleich ein vertieftes Bild des Gepräges in vollkommener Genauigkeit darſtellt. Schon die ſo erhaltene Maſſe beſitzt einige Feſtigkeit, und durch Glühen kann man ſie dahin bringen, daß ſie, während ſie ſich beträchtlich zuſammenzieht, zugleich feſter und härter wird als geſchmolzenes Kupfer. Eine ähnliche Wirkung der Wärme findet bekanntlich auch bei andern Metallen und in beſonders hohem Grade beim Eiſen ſtatt. Daher haften zwei glühende Stücke Eiſen an einander und laſſen ſich durch Hämmern vollkommen zu einer Maſſe vereinigen, und wenn wir an die ähnliche Fähigkeit denken, welche Wachs und andre Körper ſchon bei mittleren Temperaturen erlangen, ſo zeigt ſich

hier ein faſt vollſtändiger Uebergang von den härteſten, durch keinen Druck zu vereinigenden Körpern zu den flüſſigen, die ſchon bei der leiſeſten Berührung in einander fließen.

Auch zwei verſchiedne Metalle und andre harte Körper haften mit einer gewiſſen Gewalt an einander, wenn ſie mit eben geſchliffenen Flächen gegen einander gedrückt werden, bei manchen Metallen iſt ſogar dieſe Adhäſion ſtark genug, um zwei zuſammen gewalzte Bleche bleibend zu vereinigen. Die ungemeine Verſtärkung der Adhäſion durch Kitte und ſelbſt durch Fette oder Flüſſigkeiten erklärt ſich zum Theil daraus, daß dieſe weichen Körper ſich bei weitem näher der Oberfläche des feſten Körpers anſchließen.

Cohäſion und Adhäſion flüſſiger Körper.[1]

Wenn flüſſige Körper mit feſten in Berührung kommen, ſo zeigt ſich eine große Verſchiedenheit in Beziehung der Cohäſion der Flüſſigkeitstheilchen und in Beziehung der Adhäſion oder der Anziehung, die zwiſchen den Flüſſigkeitstheilchen und dem feſten Körper, den ſie berühren, ſtatt findet. Bei den meiſten hieher gehörigen Erſcheinungen vermiſchen ſich beide Wirkungen ſo, daß wenigſtens bei der Beſchreibung derſelben eine Trennung der Cohäſions- und Adhäſionserſcheinungen nicht wohl möglich iſt.

Es iſt bekannt, daß gewiſſe Körper vom Waſſer nicht naß werden, ſondern daß das Waſſer ſich von ihnen zurückzieht, und wo es etwa nicht ganz ſich von der Oberfläche entfernen kann, ſich in Tropfen zuſammenzieht, ſtatt daß andre Körper benetzt, mit einer Waſſerſchicht überzogen, aus dem Waſſer hervorgehen. Wenn eine dünne Waſſerſchicht auf einer horizontalen Oberfläche eines fetten Körpers angebracht wird, ſo zieht ſie ſich in Tropfen zuſammen, und wir ſehen hier deutlich, daß die fette Oberfläche das Waſſer wenig anzieht, daß dagegen die irgendwo etwas mehr angehäuften oder zufällig etwas mehr feſtgehaltenen Waſſertheilchen die umgebenden Waſſertheilchen heranziehen und ſo die größeren Tropfen bilden. Da hingegen, wo eine Befeuchtung der Oberfläche ſtatt findet, halten dieſe Oberflächen die Flüſſigkeit mit bedeutender Gewalt feſt, und dieſe Kraft läßt ſich in mehreren merkwürdigen Erſcheinungen nachweiſen.

Erſcheinungen in den Haarröhrchen.

Eine der auffallendſten dieſer Erſcheinungen iſt das Aufſteigen der Flüſſigkeiten in Haarröhrchen. Es iſt bekannt, daß wir in einer befeuchteten Feder die Dinte über die Oberfläche im Gefäße heraufſteigen ſehen, daß in einer Reißfeder, deren Seitenflächen einander nahe ſind, die Flüſſigkeit, in welche wir ſie eintauchen, hinauftritt, daß im Löſchpapier die Befeuchtung, indem wir es in Waſſer tauchen, viel höher als die Oberfläche geht; und das, was wir hier oft ſehen, zeigt ſich uns noch genauer in engen Glasröhren, die wir in Waſſer, Alkohol und andre Flüſſigkeiten eintauchen. Dieſe Röhren, die man ihres engen Durchmeſſers wegen *Haarröhrchen* nennt, füllen ſich, wenn ſie etwas

[1] *Frankenheim* hat in ſeiner „Lehre von der Cohäſion", Breslau 1835 für die Cohäſion der Flüſſigkeiten die Benennung: Synaphie, für die Adhäſion: Proſaphie eingeführt.

befeuchtet in ſolche Flüſſigkeiten eingetaucht werden, bis über die umgebende Oberfläche des Flüſſigen mit dieſem an, und zeigen uns dadurch, daß die Röhrenwände eine größere Anziehungskraft auf die Flüſſigkeit ausüben, als die Theilchen des Flüſſigen unter ſich, indem nur durch dieſe Anziehungskraft jenes den Geſetzen der Hydroſtatik anſcheinend widerſprechende Hinaufſteigen erklärlich iſt. Dieſes Hinaufſteigen findet gewöhnlich bei völliger Trockenheit der Wände der Röhre nicht ſtatt, weil die Luft ſo feſt an den Wänden anhängt, daß ſie erſt mit einiger Gewalt weggetrieben werden muß; hat ſie aber einmal ihren Platz dem Flüſſigen eingeräumt, ſo übt nun die Wand ihre ganze Anziehungskraft auf den flüſſigen Körper aus.

Dieſe Anziehungskraft, die man in der Anwendung auf dieſes Phänomen Haarröhrchenkraft, Capillar-Anziehung, genannt hat, äußert ſich nur in den allerkleinſten Entfernungen, denn ein Fettüberzug von der geringſten Dicke hindert jene Einwirkung der Oberfläche, die alſo in höchſt enge Grenzen eingeſchloſſen ſeyn muß. Aber wie gering auch die Entfernung ſeyn mag, bis zu welcher die Wirkſamkeit dieſer Kraft merklich iſt, ſo erhellt doch, daß (VI. Fig. 3) die an der Mündung a der Röhre a b liegenden Waſſertheilchen von der Röhrenwand hinauf-, von der unteren Waſſermaſſe hinabwärts gezogen werden, daß dadurch, indem der Zug hinauf größer iſt als der Zug herab, dieſe zunächſt an a liegenden Theilchen nicht mit ihrem vollen Gewichte herabwärts drücken, alſo dem von der freien Waſſermaſſe her entgegenwirkenden Drucke nicht das Gleichgewicht halten können, ſondern zu einigem Steigen des Waſſers in der Röhre, wodurch die Gleichheit des von innen her wirkenden und des äußern Druckes hergeſtellt wird, Veranlaſſung geben. Dieſes Steigen des Waſſers über die Oberfläche des umgebenden Flüſſigen iſt am ſtärkſten im Innern der Röhre, weil hier die Theile der Wand, indem jeder zum Heben einer und derſelben Waſſerſäule beiträgt, ſich einander unterſtützen; aber in einigem Grade ſehen wir dieſe Hebung der Oberfläche des Flüſſigen auch an der äußeren Wand der Röhre, ja an jeder Wand, die eine Befeuchtung des Flüſſigen angenommen hat, und der Grund, warum ſie hier ſehr gering iſt und ſchon in einer geringen Entfernung von der Wand ſich in die Horizontalebne der übrigen Oberfläche verläuft, iſt leicht einzuſehen.

Die Höhe, bis zu welcher ſich in derſelben Röhre verſchiedenartige Flüſſigkeiten erheben, iſt ſehr ungleich, und richtet ſich nicht nach den ſpecifiſchen Gewichten der Flüſſigkeiten, ſondern nach der eigenthümlichen Verſchiedenheit der anziehenden Kraft, die auf den flüſſigen Körper ausgeübt wird, oder nach dem Unterſchiede der anziehenden Kräfte, welche die Theilchen des Flüſſigen unter ſich und die Theilchen der Wand auf den flüſſigen Körper ausüben. Am höchſten ſcheint unter allen Flüſſigkeiten Waſſer in Haarröhrchen zu ſteigen, am wenigſten hoch die ganz von Waſſer freien Flüſſigkeiten, wie reiner Alkohol, Schwefeläther u. ſ. w. [1]

[1] Die Reſultate ſehr ausführlicher Unterſuchungen über dieſe Capillarhöhen theilt Frankenheim mit in ſeiner Cohäſionslehre. S. 79 u. ff.

Wenn man gleichartige Haarröhrchen von verſchiedenem Durchmeſſer in einerlei Flüſſigkeit eintaucht, ſo ſteigt dieſe in den engeren Haarröhrchen höher, und zwar ſo, daß die Höhe doppelt ſo groß iſt in der halb ſo weiten, dreimal ſo groß in der ein Drittel ſo weiten Röhre und ſo ferner. Der Grund hievon läßt ſich ſo überſehen. Da es nur der Umfang der Röhre iſt, welcher an der Mündung der Röhre in a das Heben bewirkt, ſo ſteigt freilich dieſe hebende Kraft auf das Doppelte, wenn der Durchmeſſer der Röhre und folglich ihr Umfang doppelt ſo groß iſt; aber wenn unter dieſen Umſtänden eine gleich hohe Säule gehoben würde, ſo wöge dieſe bei doppeltem Durchmeſſer viermal ſo viel [1], und es läßt ſich daher leicht erachten, daß jene doppelt ſo große Kraft nur eine halb ſo hohe (dabei dennoch das doppelte Gewicht beſitzende) Säule hebt. Dieſes Geſetz findet ſich mit großer Genauigkeit in den Verſuchen beſtätigt.

Wenn man, ſtatt das Waſſer in einer cylindriſchen Röhre aufſteigen zu laſſen, zwei ebne Platten parallel und vertical eintaucht, ſo ſteigt es zwiſchen dieſen nur halb ſo hoch als in einer cylindriſchen Röhre, deren Durchmeſſer dem Abſtande der beiden parallelen Platten gleich iſt. Daß es niedriger ſtehen muß zwiſchen den parallelen Platten, iſt offenbar, da ein Heben der Säule durch die rund um gehende Begrenzung in der Röhre, dagegen nur durch die Begrenzung an zwei Seiten zwiſchen den Platten ſtatt findet. Aber auch daß die eine Höhe die genaue Hälfte der andern iſt, läßt ſich zeigen. Wenn die Platten 1 Lin. von einander entfernt ſind und wir unſre Aufmerkſamkeit auf einen Theil = 1 Lin. lang richten, ſo tragen hier zwei Wände, die zuſammen 2 Lin. in der Richtung des Umfanges oder des Horizontes lang ſind, eine Säule von 1 Quadratlinie Querſchnitt; der Kreisumfang iſt bei 1 Lin. Durchmeſſer 3,14 Linien und ſein Inhalt 3,14 Viertel-Quadratlinien. Die hebende Kraft iſt alſo reichlich $1\frac{1}{2}$ mal (genau $\frac{3,14}{2} = 1,57$ mal) ſo groß im letzten Falle als im erſten, alſo muß auch das getragene Gewicht reichlich $1\frac{1}{2}$ mal (genau 1,57 mal) ſo groß ſeyn, und wenn jener Plattentheil eine Waſſerſäule von 2 Linien Höhe, das iſt 2 Cubiklinien trug, ſo muß die cylindriſche Röhre 1,57 mal 2 Cubiklinien, das iſt 3,14 mal 2 halbe Cubiklinien oder 3,14 mal 4 Viertel-Cubiklinien tragen, das iſt eine Höhe von 4 Linien, weil der Querſchnitt der Säule 3,14 Viertel-Quadratlinien betrug.

Alſo auch zwiſchen parallelen Platten ſinkt die Flüſſigkeit auf die halbe Höhe herab, wenn man jene doppelt ſo weit aus einander rückt, auf ein Drittel der Höhe, wenn man ſie dreimal ſo weit aus einander rückt, und ſo weiter; und dieſes kann man ſehr bequem ſichtbar machen, wenn man die verticalen Ebnen nicht mehr parallel, ſondern ſo aufſtellt, daß ſie ſich an der einen Seite HI berühren, an der andern einen erheblichen Zwiſchenraum laſſen. Alsdann nämlich nimmt die Oberfläche (VI. Fig. 4) die Geſtalt ABCF an, wo die Höhen BD, CE, FG im umgekehrten Verhältniß des Abſtandes von der Seite HI ſind, in welcher beide Flächen ſich berühren.

[1] Weil ein Kreis von doppeltem Durchmeſſer viermal ſo viel Fläche hat.

Laplace's Theorie der Erſcheinungen in Haarröhrchen.

Gegen die Erklärung dieſer Erſcheinungen, nach welcher ſie als Folge der anziehenden Kraft der Röhrenwand anzuſehen ſind, von der wir doch behaupten, daß ſie nur bis zu höchſt kleinen Abſtänden merklich ſey, ſcheint ein Einwurf in ſo fern ſtatt zu finden, als man zweifeln könnte, ob eine in ſo enge Grenzen eingeſchloſſene Kraft bis in die Mitte des Haarröhrchens wirken und dort die Flüſſigkeit gehoben erhalten könne. Indeß iſt dieſer Einwurf offenbar leicht zu widerlegen, indem es von ſelbſt erhellt, daß die Röhrenwand nur eine ſehr dünne Schicht, die mit ihr in unmittelbarer Berührung iſt, erhält; dieſe Schicht ſelbſt aber trägt die zunächſt anliegende Schicht, dieſe die abermals weiter nach dem Innern liegende u. ſ. w. So bilden ſich Säulen, die die ganze Röhre füllen, jede näher gegen den Mittelpunkt zu liegende immer um etwas Geringes niedriger, als die der Wand näher liegende, und die Oberfläche des Flüſſigen in der Röhre bildet eine Höhlung, eine Concavität, deren Entſtehung wohl aus dieſen Bemerkungen deutlich wird. Aber dieſe Form der Oberfläche hat durch Laplace's theoretiſche Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand noch eine neue Wichtigkeit erlangt, indem jene zeigen, daß die Anziehungskraft der oberſten Schicht in der Röhre das Gleichgewicht der einmal gehobenen Säule erhält; und da ich die Hoffnung hege, daß eine etwas nähere Einſicht in die ſcharfſinnigen Schlüſſe, auf denen Laplace's Theorie beruht, auch Ihnen angenehm ſeyn wird, ſo werde ich verſuchen, in populärer Darſtellung Ihnen etwas von dem anzugeben, was den mathematiſchen Rechnungen Laplace's zum Grunde liegt. Nur kurz erwähnen kann ich hierbei, daß Poiſſon und Gauß die Theorie dieſer Erſcheinungen auf eine noch ſicherere Art begründet haben, unter anderm durch die Berückſichtigung des wichtigen Umſtandes, daß die oberſte mit der Luft in Berührung befindliche Schicht der Flüſſigkeit dünner, die an den Gefäßwänden anliegende dichter ſeyn muß als das Innere der Flüſſigkeit.

Wir denken uns alſo jetzt die gehobene Flüſſigkeit, ohne noch zu fragen, woher dieſe Geſtalt der Oberfläche entſtehe, als begrenzt an der obern Seite durch die gekrümmte Oberfläche ACB (VI. Fig. 5), die wir als eine Kugelfläche anſehen dürfen. Die Waſſertheilchen ziehen einander an, und wir müſſen alſo zu beſtimmen ſuchen, wiefern die Theilchen der den Punkt C unmittelbar umgebenden Kugelſchicht anders wirken, als es bei einer ebnen Oberfläche der Fall ſeyn würde. Und hier erhellt leicht, daß, ſo eng begrenzt auch die Anziehungsweite der der Axe benachbarten Theilchen iſt, doch die um C oberhalb **DE** liegenden Theilchen eine Anziehung hinaufwärts ausüben, die nicht ſtatt fände, wenn **DE** die Oberfläche ausmachte. Dieſe aus der kugelförmigen Geſtalt der Oberfläche entſpringende Anziehung auf die unmittelbar unter C in der Axe liegenden Waſſertheilchen iſt deſto ſtärker, je kleiner der Durchmeſſer der Kugel **ACB** iſt, indem bei einer kleineren Kugel die Dicke der über **DE** liegenden Schicht in ſehr geringen Entfernungen von C ſchneller zunimmt;

eine genauere Unterſuchung zeigt, daß dieſe Anziehung das Doppelte wird bei dem halb ſo großen Kugeldurchmeſſer, das Dreifache bei dem ein Drittel ſo großen Durchmeſſer und ſo ferner; aber dieſer Durchmeſſer ſelbſt iſt der Weite der Röhre proportional, und es iſt daher die Hebung doppelt ſo groß bei der halb ſo weiten Röhre, dreimal ſo groß bei der ein Drittel ſo weiten Röhre und ſo ferner. Dieſe der Kugelſchicht entſprechende Anziehung findet in C in der Axe der Röhre ſtatt, ſie findet dagegen offenbar nicht ſtatt in F, in der freien horizontalen Oberfläche des Flüſſigen; in C vermindert ſie den hinabwärts gehenden Druck der Säule CK, die daher der eben ſo tief hinab, bis zu einerlei Horizontallinie IK, reichenden Säule FI nur dann das Gleichgewicht halten kann, wenn jene höher iſt. Wir dürfen alſo behaupten, daß die Säule Cc, die oberhalb der Oberfläche des umgebenden Flüſſigen liegt, durch dieſe gegenſeitige Anziehung der Waſſertheilchen auf einander getragen werde, daß die Einwirkung einer concaven Oberfläche einen Zug nach außen hervorbringe, welcher allein dieſer Form der Oberfläche zuzuſchreiben iſt. Daß dieſe hebende Kraft in C oder allgemein dieſe nach außen ziehende Kraft einer concaven Oberfläche dem Halbmeſſer der Krümmung der Oberfläche umgekehrt proportional iſt, erhellt aus dem Vorigen.

Wenn dagegen eine convexe Oberfläche ſtatt findet, wie es beim Queckſilber meiſtens der Fall iſt, ſo läßt ſich die Betrachtung auf eine ähnliche Weiſe führen. Iſt DCE (VI. Fig. 6) dieſe Oberfläche, ab die ſie berührende Horizontallinie, ſo würden die dicht an C liegenden Theilchen der horizontalen Oberfläche eine anziehende Kraft hinaufwärts ausüben, welche nicht ſtatt findet, wenn die oberhalb der Kugelfläche ihren Platz habenden Theilchen weggenommen ſind; es findet daher an der convexen Oberfläche ein verminderter Zug hinaufwärts ſtatt, und folglich kann das Gleichgewicht zwiſchen der Säule CH in der Röhre und der Säule Ff außer der Röhre nur dann beſtehen, wenn jene Säule eine geringere Höhe hat. Man kann dieſe Betrachtung auch ſo ausdrücken: ſo gering auch die Abſtände ſeyn mögen, von welchen her noch eine Einwirkung auf C ſtatt findet, ſo ſind es doch in der convexen Kugeloberfläche niedriger liegende Theilchen, die auf C und alſo herabwärts ziehend wirken; ihre Wirkung würde zum Theil aufgehoben, wenn der Raum bis zur Horizontalfläche mit der Flüſſigkeit gefüllt wäre, aber dieſes findet jetzt nicht ſtatt, und die geſammte Einwirkung des Flüſſigen auf ſich ſelbſt beſteht alſo an der convexen Fläche in einem nach innen gekehrten Zuge, wodurch eine Vermehrung des Druckes hervorgebracht wird. Dieſer nach innen gerichtete Zug bewirkt es, daß das Queckſilber in der Röhre DE niedriger ſteht als außerhalb, und hält auch in andern Fällen dem nach außen gerichteten Drucke einer höhern Säule das Gleichgewicht.

Andere Anwendungen dieſer Theorie.

Daß ganz ähnliche Schlüſſe ſtatt finden, wenn die Oberfläche die Geſtalt gh annimmt (VI. Fig. 5) und ſich an der Wand hinaufzieht oder wie FL,

(VI. Fig. 6) ſich an ihr herabdrängt, erhellt nun von ſelbſt. Aber mehrere merkwürdige Erſcheinungen finden hierin auch eine leichte Erklärung und dienen umgekehrt zur Beſtätigung der eben behaupteten Einwirkung der gegenſeitigen Anziehung der Waſſertheilchen an einer concaven und einer convexen Oberfläche. Wenn man zwei verbundene Röhren AB, CD (VI. Fig. 7), deren eine CD ſehr eng iſt, nach und nach mit Waſſer füllt, ſo beobachtet man, daß das Waſſer zuerſt in der engen Röhre höher ſteigt, ſo daß die eine Oberfläche etwa in LM ſteht, wenn die andere, bedeutend concave, ſich in NO befindet. Dieſes Höherſtehen dauert fort, bis die concave Oberfläche die Mündung erreicht; aber man würde ſich ſehr irren, wenn man glauben wollte, daß die Röhre bei D ein Ausfließen geſtatten würde, wenn man fortfährt, auf die etwa in PQ angekommene Oberfläche noch mehr Waſſer zu gießen. War PQ die Oberfläche in der weiten Röhre, als der Rand der hohlen Oberfläche die Mündung D erreichte, ſo fängt, indem man bei PQ mehr Waſſer zugießt, die hohle Oberfläche an, ſich abzuflachen, weil keine höher hinauf liegende Röhrenwand mehr das Entſtehen der hohlen Krümmung unterſtützt; wenn die Oberfläche RS eben ſo hoch ſteht, als die Mündung D, ſo iſt die Oberfläche bei D genau eben geworden; aber wenn man auch noch mehr Waſſer langſam zugießt, ſo läuft es bei D nicht aus, ſondern wenn die Röhre trocken iſt, ſo bildet ſich eine convexe Oberfläche bei D, und wenn es gelingt, dieſe bis zu einer vollen Halbkugel hinaufzutreiben, ohne daß ſie ſich über den trocknen Rand der Oeffnung D verbreitet, ſo findet man die Oberfläche TU in der weiten Röhre nun eben ſo hoch über D, als PQ unter D war, ſo lange die ganze Tiefe der Höhlung dauerte. Hier zeigt ſich alſo recht überzeugend, daß der in der engen Röhre auf die untern Theile der Flüſſigkeit ausgeübte Druck vermindert war um das Gewicht der ganzen oberhalb LM liegenden Säule des Flüſſigen, ſo lange die Oberfläche NO ihre ganze Concavität behielt, daß dieſe Verminderung wegfiel, als die Oberfläche eben ward, und daß ſie in eine Vermehrung des Druckes überging, ſobald die Oberfläche convex wurde. Wenn das Experiment nicht ſo vollkommen gelingt, ſondern das Waſſer bei D ſich im Hervordringen über die Dicke der Röhrenwand mit verbreitet, ſo daß die Wölbung nicht wie abc (VI. Fig. 8) eine Halbkugel ſondern wie dbe eine flachere Krümmung bildet, ſo ſteigt das Waſſer im andern Schenkel nicht ganz ſo hoch ohne auszufließen, ſondern nur ſo viel, als der geringern Krümmung angemeſſen iſt.

Von eben dieſer Einwirkung der Attraction der Kugelſchicht hängt eine andere Erſcheinung ab. Man nehme eine nicht zu ſehr von der cylindriſchen Geſtalt abweichende, aber doch im Innern merklich coniſche Röhre, und bringe in dieſelbe, indem man ſie vertical und den engern Theil nach oben hält, eine geringe Quantität Waſſer in ihr unteres Ende, ſo ſteigt dieſes Waſſer in ihr hinauf und kömmt erſt an einer beſtimmten Stelle zur Ruhe. Dieß rührt daher, weil (VI. Fig.. 9) die viel ſtärker gekrümmte Oberfläche AB eine ſtärkere Verminderung des Druckes der ſchweren Waſſerſäule hervorbringt, als die

Vermehrung des herabwärts gehenden Druckes durch die viel flachere Krümmung der Oberfläche CD beträgt. Iſt nun in dem untern weitern Theile der Röhre der Unterſchied dieſer Anziehungen ſo groß, daß der Druck der dort nur kurzen Waſſerſäule demſelben nicht das Gleichgewicht hält, ſo zieht ſich die Waſſerſäule höher hinauf in den engern Theil der Röhre, und da ſie dort eine größere Höhe einnimmt, ſo wird endlich dieſe Höhe groß genug, um dem Unterſchiede beider Anziehungen das Gleichgewicht zu halten. Wäre die Waſſermenge ſo gering, daß ſie nie die hiezu ausreichende Höhe erlangen könnte, ſo würde der Tropfen ſich bis an die obere Mündung ziehen und bis ſo weit, daß die obere Fläche die verminderte Concavität erhält, wobei das Gleichgewicht ſtatt finden kann. Ein Queckſilbertropfen würde ſich in einer Glasröhre hinaufziehen, wenn das untere Ende enger iſt. Auf ähnliche Weiſe zieht ſich zwiſchen zwei ſchief liegenden Glasflächen, deren Zwiſchenraum in der obern Gegend enger iſt, ein Waſſertropfen hinaufwärts.

Erſcheinungen, die mit der Anziehungskraft der Haarröhrchen zuſammenhängen.

Ehe ich die übrigen Erſcheinungen erzähle, die von eben dieſen anziehenden Kräften abhängen, muß ich Sie noch auf einige uns allen bekannte Phänomene aufmerkſam machen, die mit den bisher betrachteten in unmittelbarer Verbindung ſtehen. Wir tauchen ein Stückchen Zucker in Waſſer und ſehen das Waſſer in demſelben ſich hinaufziehen. Wir legen ein Streifchen Löſchpapier über die Ränder zweier neben einander ſtehender Gläſer, und ſehen, wenn das eine nicht völlig mit Waſſer gefüllt, das andere leer iſt, daß nicht allein das Waſſer ſich in dem Löſchpapier hinaufzieht, ſondern ſogar das Waſſer in das andere Gefäß hinübergeführt wird. Wir ſehen das heiße Oel im Dochte der Lampe hinaufſteigen. — Dieß alles iſt die Wirkung der Haarröhrchenkraft, der Attraction, die alle dieſe Körper auf die flüſſigen ausüben; ja man kann, wenn man ſich zum Brennen einer in Glas leicht aufſteigenden Flüſſigkeit bedient, ſtatt des Dochtes gläſerne Haarröhrchen anwenden. Wenn wir mit einem Tuche ein Glas austrocknen, ſo iſt es dieſe Anziehungskraft, welche die Feuchtigkeit in die Zwiſchenräume des Leinens und ähnlicher Subſtanzen hineinbringt, durch welche wir das Austrocknen zu Stande bringen. Man hat das Emporſteigen des Saftes in den Pflanzen durch eben dieſe Kraft erklärt, und wenn man auch darin vielleicht zu weit gegangen iſt, indem dazu wahrſcheinlich noch eine Lebensthätigkeit mitwirkt, ſo iſt doch wenigſtens gewiß, daß auch die gewöhnliche Anziehungskraft von Einfluß dabei iſt. Am beſten zeigt dieß ein ſeit einiger Zeit in Anwendung gekommenes Verfahren zum Färben des Holzes, über das beſonders Boucherie Verſuche angeſtellt hat Er bohrte unter anderm ein Loch in den Stamm eines Baumes und ſetzte dieſes in Verbindung mit einem Gefäße voll Flüſſigkeit; die Flüſſigkeit wurde aufgeſogen und zeigte nach einiger Zeit je nach ihrer Beſchaffenheit ihre Wirkungen an allen Theilen bis zu den Blättern hin. Noch beſſer ging freilich

das Aufſaugen unter Mitwirkung der Schwerkraft von ſtatten, wenn ein abgeſchnittener Stamm von oben mit der Flüſſigkeit getränkt wurde; es lief dann unten der Saft ab, indem er nach und nach durch die fremde Flüſſigkeit verdrängt wurde, und man konnte auf dieſe Art die Hölzer in ihrer ganzen Maſſe färben, ja ſogar durch gutgewählte Flüſſigkeiten einigermaßen Elaſticität, Härte und Haltbarkeit des Holzes ändern.

Noch muß ich als hierher gehörig Vera's Waſſermaſchine erwähnen, wo das Waſſer durch die Befeuchtung von Stricken hinaufgezogen wird. Sie beſteht (VI. Fig. 10) aus einem über zwei Rollen A, B gehenden Seile ohne Ende; die um die untere Rolle B gehenden Theile des Seiles tauchen ſich in Waſſer und befeuchten ſich damit, und indem man mit ſchnellem Drehen der obern Rolle das Seil zu einem Umlaufe nöthigt, werden die naſſen Theile b des Seiles hinaufgeführt und nehmen dabei, ganz mit Waſſer bedeckt, deſto mehr Waſſer mit hinauf, je ſchneller die Bewegung iſt; dieſes ſtreifen ſie an der Rolle A ab, wo es in dem Kaſten C aufgefangen, durch die Röhre D abgeleitet und in einem bei E angebrachten Gefäße geſammelt wird. Die obere Rolle iſt nämlich, wie die Figur zeigt, in ein Gefäß eingeſchloſſen, das im Boden zwei Oeffnungen hat, um die Seile durchzulaſſen, das aber dennoch von dem erſt an der obern Rolle ſich ſeines Waſſers entladenden Seile ſo reichlich Waſſer erhält, daß dieſes in Menge gehoben aus dem Gefäße abgeleitet werden kann. Die bedeutende Geſchwindigkeit des Seiles erhält man dadurch, daß man die Axe der obern Rolle durch Hülfe eines größern Rades T in eine ſchnelle Umdrehung ſetzt. Der Erfinder hatte dieſe Maſchine angewandt, um das Waſſer 63 Fuß hoch zu heben; indeß iſt dieſe Vorrichtung mehr merkwürdig als nützlich zu nennen, da die gehobene Quantität nicht ſo groß, als bei andern einfachen Hebemaſchinen, iſt.

Das Anhängen des Waſſers am Gefäße iſt ein Umſtand, der uns oft ſehr läſtig iſt. Will man nur wenig Waſſer aus einem Gefäße ausgießen, ſo findet man es ſchwer, zu hindern, daß nicht ein Theil des Flüſſigen am Gefäße herablaufend verſchüttet werde. Der Strahl, der durch den Antrieb des herandrängenden Flüſſigen die Form ABC (VI. Fig. 11) annehmen ſollte, wird durch die Anziehung des Gefäßes zurückgehalten und fließt ungefähr, wie AD zeigt, herab; die anziehende Kraft des Gefäßes hebt nämlich die vorwärts dringende Geſchwindigkeit auf, und man ſieht oft recht deutlich, wie im einen Augenblicke die mit etwas mehr Gewalt andrängende und mehr Geſchwindigkeit ertheilende Waſſermaſſe dem Strahle ſeine Richtung nach B zu wiedergiebt, aber im andern Augenblicke der Strahl, weniger lebhaft vorausgetrieben, ſich wieder an die Wand des Gefäßes anlegt. Man entgeht dieſer Unbequemlichkeit faſt völlig, wenn man die äußere Seite des Gefäßes ganz trocken abwiſcht und dann ein vorher benetztes Glasſtäbchen in beinahe verticaler Richtung an die Ausgußmündung hält, wie Fig. 12 zeigt; dann zieht ſich die Flüſſigkeit gegen die Oberfläche des Stäbchens und fließt an ihr herab, mit deſto weniger Gefahr, hinterwärts am Gefäße herabzufließen, je genauer man das Gefäß

abgetrocknet hat, vorzüglich wenn man dem Strome an dem Stäbchen ſo viel Breite als möglich giebt.

Faſt alle dieſe Bemerkungen bezogen ſich nur auf die Körper, die vom Gefäße ſtark angezogen werden und ſich daher an den Wänden deſſelben in die Höhe ziehen; aber auch die entgegengeſetzte Erſcheinung verdient unſere Aufmerkſamkeit. Das Queckſilber gehört zu den Flüſſigkeiten, die ſich nicht leicht an eine Glaswand anlegen und die daher in Röhren eine convexe Oberfläche annehmen. Da wir nun wiſſen, daß eine ſolche Oberfläche, ſelbſt mit ihrer höchſten Wölbung, nicht ſo hoch ſteht, als der Druck es bei horizontaler Oberfläche fordern würde, ſo müſſen wir bei der Beobachtung des Barometers den Luftdruck nicht allein der bis zum höchſten Gipfel gerechneten Queckſilberſäule gleich rechnen, ſondern noch etwas größer, und die Zugabe, die wir hinzurechnen müſſen, iſt größer in engen, als in weiten Röhren. Indeß iſt dieſe Verminderung der Barometerhöhe durch die ſo große gegenſeitige Anziehungskraft der Queckſilbertheilchen nicht bei allen Glasarten gleich, es bleibt daher eine kleine Ungewißheit bei der Vergleichung von Barometern, die man nicht unmittelbar neben einander ſtellen kann, übrig.

Sechsundzwanzigſte Vorleſung.

Scheinbare Anziehung und Abſtoßung ſchwimmender Körper.

Die Erſcheinungen, die durch Cohäſion und Adhäſion von Flüſſigkeiten verurſacht werden, ſind ſo zahlreich und greifen ſo in die allergewöhnlichſten Vorgänge ein, daß ich nicht unterlaſſen kann, zu den erörterten Geſetzen der Haarröhrchen noch einige damit in naher Verbindung ſtehende Beobachtungen hinzuzufügen. Sehen wir auf dem Waſſer in einem Gefäße Korkſtückchen oder auch nur Bläschen ſchwimmen, ſo bemerken wir, daß dieſe ſchnell gegen einander und ſchnell gegen den Rand des Gefäßes zu gehen, wenn auch der Abſtand noch ziemlich erheblich war; aber der Anſchein einer ſo weit in die Ferne gehenden Anziehung der Körper beruht nur auf dem eben vorhin betrachteten höhern Stande des Waſſers zwiſchen zwei einander nahe gerückten Wänden. So lange nämlich die ſchwimmenden, vom Waſſer bis über die Waſſerfläche hinauf befeuchteten Körper noch ziemlich weit von einander entfernt ſind, ziehen ſie zwar neben ſich das Waſſer etwas höher hinauf, aber doch nicht in erheblichem Grade; kommen ſie aber einander nahe, oder kommen ſie nahe an den Rand, ſo ſteigt zwiſchen ihnen, wie zwiſchen zwei Glastafeln, das Waſſer erheblich höher, und übt nun eine die Körper gegen einander ziehende Kraft aus. Sind A B, C D (VI. Fig. 13) ſolche ſchwimmende Körper, ſo ſteht die Waſſerfläche zwiſchen ihnen höher als an den äußern Seiten, und da beim Eingange des durch ſie begrenzten Raumes, bei a ein Gleichgewicht der Preſſungen ſtatt findet, ſo iſt in jedem oberhalb der Waſſerfläche EF liegenden

Punkte innerhalb des engen Raumes der Druck niederwärts geringer, als der Zug hinaufwärts. Wir ſahen nämlich vorhin, daß das Gewicht der oberhalb E F liegenden Säule der Anziehung der Kugelſchicht A C das Gleichgewicht hielt; der Punkt b alſo, der mit E F gleich hoch liegt, leidet von oben und von unten gar keinen Druck, da die oberhalb liegende Säule A C b genau von jener Anziehung der Schicht A C getragen wird. Aber der Punkt c wird hinaufwärts gezogen, weil die kleinere Säule A C c jenem Zuge nicht das Gleichgewicht hält. So lange die beiden Wände A B, C D feſt gehalten werden, zeigt ſich dieſes Beſtreben zu ſteigen nicht, ſondern c und alle oberhalb b liegenden Punkte werden nur eben ſo hinaufwärts gedrückt, wie die tiefer liegenden Punkte e hinabwärts, ohne daß dadurch eine Störung des Gleichgewichts entſtände; denn ſollte c dem Zuge hinaufwärts folgen, ſo müßte die Waſſerſäule über b und a, wo Gleichgewicht ſtatt findet, ſich erhöhen, was nicht möglich iſt. Aber wenn die Wände beweglich ſind, wie es bei zwei ſchwimmenden, dieſe Wände bildenden Körpern der Fall iſt, ſo hat jener in c hinaufwärts gehende Druck den Erfolg, daß die Wände einander näher rücken; denn indem dieß geſchieht, wird das Gleichgewicht in a immer wieder hergeſtellt, weil die allerdings höher geſtiegene Säule nun auch von dem mehr gekrümmten Theile A C der Oberfläche mit mehr Gewalt hinaufgezogen wird. Dieſes Gegeneinanderdrängen der Wände dauert fort, bis ſie ſich berühren, und hierin liegt der Anſchein des gegenſeitigen Anziehens.

Dieſes Anziehen findet auch ſtatt, wenn Glastafeln in Queckſilber getaucht werden, oder wenn an den beiden beweglichen Wänden die Flüſſigkeit niedriger ſteht, als die Horizontalfläche in dem weitern Gefäße. Dann nämlich beſteht in a (VI. Fig. 14) wieder Gleichgewicht, ſo lange die Wände feſtgehalten werden; b leidet einen Druck eben ſo groß als c, und ſelbſt die unmittelbar unter der convexen Oberfläche e liegenden Theile leiden eben den Druck, wie die in d gleich hoch liegenden; denn die gegen den Mittelpunkt der kleinen Kugel gerichtete Anziehung der Kugelſchicht hält dem Drucke der Säule d f das Gleichgewicht. Unſtreitig aber leiden die oberhalb e liegenden Theile der Wände einen Druck von außen her, die Wände drängen ſich daher gegen einander, und dieſer Druck wird immer ſtärker, je näher ſie ſchon einander ſind, weil bei größerer Nähe das Queckſilber in e immer tiefer ſinkt. Aus dieſem Grunde vermehrt ſich die Schnelligkeit, mit welcher die Körper gegen einander zu gehen, immer mehr, je näher ſie einander kommen, und eben dieſer immer ſtärkere Andrang gegen einander wird im vorigen Falle durch den Zug hinaufwärts innerhalb, wie hier durch den Druck hinabwärts von außen, hervorgebracht.

Abet das Umgekehrte findet ſtatt, wenn zwei Wände entgegengeſetzter Art ſich eingetaucht finden. Wäre zum Beiſpiel (VI. Fig. 15) eine Glasplatte AB neben einer mit Fett beſtrichenen Fläche CD in Waſſer eingetaucht, ſo zieht ſich das Waſſer an der Fläche AB hinauf und iſt dagegen an CD hinabgedrückt; es ſteht aber gewiß tiefer in I als in H, und höher in K als

in G, weil die entgegengeſetzten Einwirkungen in G und H offenbar der Oberfläche in dem engen Zwiſchenraume eine halb convexe, halb concave Geſtalt geben und die Erhöhung ſowohl als die Vertiefung der Oberfläche nicht ihren vollen Grad erreichen laſſen. Iſt aber dieſes, ſo brauche ich wohl nur, auf das Vorige geſtützt, mit wenigen Worten zu ſagen, daß AB nach K hin ſtärker gezogen, daß CD von H abwärts ſtärker gedrückt wird und daher die beiden Wände oder die beiden ſchwimmenden Körper einander abzuſtoßen ſcheinen müſſen.

Form der Tropfen. Abmeſſung der Kraft, durch welche feſte Körper von flüſſigen losgeriſſen werden. Schwimmen ſchwerer Körper.

Noch andre Fragen laſſen ſich aus einer genau durchgeführten Theorie der Cohäſion und Adhäſion beantworten. Wenn eine Quantität von Flüſſigkeit jeder fremden Einwirkung entzogen würde, ſo würde ſie durch ihre eigne Cohäſion eine Kugel bilden, aus denſelben Gründen, aus welchen die geſammte Oberfläche aller Meere der Erde (abgeſehen von den Wirkungen der Umdrehung) auch eine Kugelfläche darſtellt. Nur bei dieſer Geſtalt nämlich wird jedes Theilchen der Oberfläche mit gleicher Kraft nach innen gezogen und zwar in einer gegen die Oberfläche ſenkrechten Richtung. Man kann das Entſtehen dieſer Kugelform ſogar durch den Verſuch nachweiſen, indem man eine kleine Quantität fetten Oeles auf Waſſer ſchwimmen läßt, und dann durch vorſichtiges Zugießen von Weingeiſt das Waſſer leichter macht, bis es endlich genau dem Oele an ſpecifiſchem Gewichte gleichkommt. Je mehr man dieſem Punkte nahe kommt, deſto mehr zieht ſich die Oelſchicht zu einer rundlichen Geſtalt zuſammen; endlich wenn der Punkt genau erreicht iſt, bleibt das Oel in vollkommener Kugelform, als eine der Schwerkraft ganz entzogene Maſſe, an jeder Stelle der Weingeiſtmiſchung ſchweben. [1]

Im Allgemeinen wirkt bei der Entſtehung von Tropfen die Schwerkraft und die Adhäſion an feſten Körpern noch mit auf deren Geſtalt ein und dann werden allerdings die Erſcheinungen complicirter. Wenn ein Tropfen an einer benetzten Fläche hängt, ſo kann er bei hinreichendem Zufluſſe ſo lange wachſen, bis endlich durch ſein zunehmendes Gewicht die Cohäſion der Flüſſigkeitstheile überwunden wird. Der größern Cohäſion wegen iſt daher Waſſer geeigneter, große Tropfen zu bilden, als Weingeiſt, außerdem hängt jedoch die Größe der Tropfen noch von der Schnelligkeit des Zufluſſes, von der Krümmung der benetzten Fläche und ſogar von der Temperatur ab, indem die Wärme ſowohl die Adhäſion als die Cohäſion vermindert. Wenn ein großer Queckſilbertropfen in einer Glasſchale oder ein Waſſertropfen auf einer mit Hexenmehl (semen lycopodii) beſtrichenen Fläche liegt, ſo nimmt der eine und der andere ungefähr die Form ACB (VI. Fig. 16) an. Die Oberfläche eines Flüſſigen beſteht allemal dadurch als Oberfläche, daß in ihr gar kein

[1] Plateau hat gezeigt, wie man durch ſolche ſchwebende Kugeln die Einwirkung der Schwungkraft auf die Geſtalt der Planeten veranſchaulichen kann.

Druck des flüſſigen Körpers ſtatt findet; in den Punkten B oder A iſt, bloß in Beziehung auf die Schwere, ein Druck, welchen die höher liegenden Theilchen ausüben, gewiß wirkſam, und dieſer muß alſo, wie das Beſtehen der Oberfläche in dieſer Form zeigt, durch eine entgegenwirkende Kraft vernichtet werden. Da die Oberfläche auch bei C eine ſchwache Wölbung hat, ſo verſtärkt der bei C nach innen gerichtete Druck noch den durch die Schwere hervorgebrachten Druck; aber bei A und B iſt die Krümmung der Oberfläche viel ſtärker, als in C, daher iſt der nach innen gerichtete Zug der die convexe Oberfläche bildenden Theile ſehr viel ſtärker als in C, und ausreichend, jenen beiden vereinigten Preſſungen das Gleichgewicht zu halten. Daß eben hierauf die Geſtalt der gewölbten Oberfläche beruht, die wir Waſſer in einem am Rande trockenen Gefäße annehmen ſehen, wenn es ſich über den Rand erhebt, erhellt nun von ſelbſt. Der entgegengeſetzte Fall findet da ſtatt, wo eine Metallplatte auf die Oberfläche AB (VI. Fig. 17) des Waſſers gelegt und durch eine fremde Kraft hinaufwärts gezogen wird. Hat man hier AB ſich vollkommen befeuchten laſſen und bringt nun vermittelſt einiger auf die Waagſchale E gelegten Gewichte eine aufwärts ziehende Kraft an, ſo hebt ſich eine Waſſermaſſe mit AB über die eigentliche Waſſerfläche CD hervor. Sie nimmt an den Seiten eine concave Oberfläche an, ſo wie die Figur zeigt; denn da die Waſſertheile mit bedeutender Gewalt gegen den feſten Körper AB gezogen und dadurch ſo erhalten werden, daß ſie ſelbſt in a, in der Horizontalfläche CD, gar keinen Druck ausüben, ſo iſt oberhalb a ein hinaufwärtsgehender Zug, der an der Seiten-Oberfläche als ein Zug nach innen ſich zeigen würde, wenn nicht die hohle Oberfläche ſich ſo bildete, daß der hinauswärts, gegen die hohle Oberfläche zu, gerichtete Zug jenem genau gleich wäre. Die Kraft, mit welcher eine ſolche Platte von Marmor oder Glas AB am Waſſer feſthängt, iſt ſo bedeutend, daß ſie nach G. G. Schmidt's Verſuchen 51, nach Parrot's Verſuche 55 Gran auf den Quadratzoll beträgt, und Schmidt's Unterſuchung zeigt, daß dieß mit der Berechnung ſehr nahe übereinſtimmt, wenn man dieſe auf die Höhe gründet, zu welcher das Waſſer in Haarröhrchen ſteigt; bei Weingeiſt beträgt ſie gegen Glas 33 Gran, bei Oel gegen Glas 41 Gran, bei Queckſilber gegen eine polirte Zinnplatte ſogar 497 Gran, nach Gay-Luſſac's Verſuchen für Waſſer gegen eine Glasſcheibe $53\frac{1}{3}$ Gran.

Zu den kleinen, aber recht anziehenden Verſuchen, die hier ihre Erklärung finden, gehört auch noch der, wo man ſtählerne Nähnadeln auf Waſſer ſchwimmen läßt. Die Nadeln müſſen ganz trocken und frei von Roſt ſeyn; wenn man ſie dann ſehr vorſichtig auf die Oberfläche des Waſſers legt, ſo drücken ſie um ſich das Waſſer zurück und liegen in dieſer Höhlung auf der Oberfläche. Sind mehrere einander nahe auf das Waſſer gelegt, ſo gehen ſie zu einander hin, legen ſich parallel und kommen nach einigen Oſcillationen, durch welche ſie neben einander hin und her gehen, zur Ruhe. Die glatte Oberfläche des Stahles nämlich hält die Lufttheilchen ſo feſt an ſich, daß ſie nicht leicht eine Benetzung zuläßt, und die einander ſtark anziehenden Waſſertheilchen,

die von der Stahlfläche ſchwächer angezogen werden, bilden bei c eine convexe Oberfläche (VI. Fig. 18). Der Punkt b leidet offenbar einen Druck durch die aufliegende Nadel von außen, durch die Waſſerſäule de von innen her, und beide Preſſungen heben einander auf; die Waſſertheilchen bei c leiden, tiefer liegend als d, einen Druck der kleinen, höher ſtehenden Waſſerſäule; aber die Anziehungskraft, welche die Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt an einer convexen Oberfläche c ausübt, iſt nach innen gerichtet und zerſtört jenen Druck. So ruht der viel ſchwerere Körper auf dem leichtern Waſſer, ſo lange er ſich nicht benetzt, und ſo lange ſein Gewicht nicht mehr beträgt, als das von ihm und der ihn umgebenden Höhlung aus der Stelle getriebene Waſſer. Aehnliche Verſuche gelingen, wenn man Nadeln und ähnliche Körper auf eine Waſſeroberfläche bringt, die mit Aether oder Terpentinöl bedeckt iſt.

Sie ſehen aus dieſen mannigfaltigen Erſcheinungen, theils wie folgenreich die richtig aufgefaßte Betrachtung der gegenſeitigen Anziehung der Theilchen an einer gekrümmten Oberfläche iſt, theils wie bedeutend ſich die Größe dieſer Kräfte zeigt. Und doch war hier immer nur von der Differenz dieſer Kräfte die Rede; denn wenn das Waſſer an der emporgehobenen Platte AB (VI. Fig. 17) anliegt, ſo iſt es nur der Ueberſchuß der anziehenden Kraft der Platte gegen das Waſſer über die Anziehungskraft der Waſſertheilchen unter einander, welcher die Platte fähig macht, das Waſſer zu heben, und eben ſo iſt es in den Haarröhrchen nur der Unterſchied der anziehenden Kräfte, welche die Röhrenwand und welche die Waſſertheilchen ausüben, die wir kennen lernen. In andern Fällen ſehen wir nur, daß die die krumme Oberfläche bildenden Theilchen eine etwas andere Einwirkung auf die benachbarten Theilchen zeigen, als es an einer ebenen Oberfläche der Fall iſt, und immer lernen wir nur den Unterſchied beider kennen; die ganze Kraft der Anziehung benachbarter Theilchen auf einander muß daher ganz gewiß noch weit größer ſeyn.

Ein Verſuch, wo ſich eine noch größere Anziehungskraft zeigt.

Es giebt einige Phänomene, wo eine viel größere Anziehungskraft thätig zu ſeyn ſcheint, und wo wir alſo wohl glauben dürfen, wenigſtens etwas näher jene ganze Kraft kennen zu lernen. Dahin rechnet Laplace den ſchon oft angeſtellten Verſuch, daß man eine 4 oder 5 Fuß lange Glasröhre, die am einen Ende in einer reinen Wölbung zugeſchmolzen iſt, mit Queckſilber füllt, dann, wie eine mit der Mündung eingetauchte Barometerröhre, umkehrt und vorſichtig mit dem Finger geſchloſſen hält, bis man ſie zu einer ganz ruhigen Stellung gebracht hat, wo man nun ſehr oft das Queckſilber bis zum höchſten Theile der Röhre hängen bleiben ſieht. Der Verſuch gelingt etwas ſchwer, aber er gelingt doch, und das Queckſilber bleibt oft lange genug hängen, um die Ueberzeugung, daß es durch eine Adhäſion an der obern Wölbung der Röhre gehalten werde, zu begründen, indem der Druck der Luft es nicht ſo hoch erhalten könnte. Laplace ſieht dieſe Wirkung als von der geſammten Größe jener Kraft abhängend an, glaubt aber, daß wir dieſelbe doch ſelbſt

da nur ſehr unvollkommen kennen lernen. Ueber ihre wahre Größe ſcheinen nur die chemiſchen Erſcheinungen einige Auskunft zu geben.

Rotation eines befeuchteten Glaſes.

Ich füge noch die Beſchreibung eines Verſuches bei, der eine ſehr auffallende Erſcheinung darſtellt. Wenn man ein Uhrglas an der convexen Seite mit einem Tropfen Waſſer naß macht und es nun ſo, daß der Tropfen an der Berührungsſtelle liegt, auf einen Spiegel legt, ſo bewegt ſich das Glas bei einer ſchwachen Neigung des Spiegels nicht in gerader Richtung herab, ſondern geräth in eine, oft recht ſchnelle, Drehung. Dieſe Drehung entſteht ohne Zweifel dadurch, daß der Schwerpunkt des Glaſes von dem durch den Tropfen feſtgehaltenen Punkte etwas abweicht; die einmal entſtandene Drehung ſetzt ſich, wie bei Kreiſeln, leicht fort. Um die Urſache dieſer Rotation des Uhrglaſes recht deutlich zu ſehen, ſcheint mir folgende Anordnung des Verſuches vorzüglich zweckmäßig. Man legt das Uhrglas auf den Spiegel ſo, daß der Waſſertropfen die Mitte des Glaſes befeuchtet und ſich gleichförmig um den mittlern Berührungspunkt ausdehnt. Iſt dieß genau der Fall, ſo nimmt auch bei einer etwas geneigten Stellung des Spiegels, den ich als mit der niedrigern Seite gegen den Beobachter gekehrt annehme, das Uhrglas keine Rotation an. Aber nun drücke man einen Augenblick lang mit dem Finger den rechts liegenden Rand des Glaſes nieder, ſo ſetzt ſich ſogleich das Glas in eine drehende Bewegung, und zwar ſo, daß die links liegenden Theile unterwärts gehen, und dieſe Bewegung dauert nun ohne Aufhören fort, bis man durch einen Druck auf die links liegende Seite eine entgegengeſetzte Bewegung hervorbringt. Die Urſache der Drehung beſteht alſo darin, daß, indem ich das Glas an der rechten Seite niederdrücke, der Schwerpunkt des Glaſes ohne Unterſtützung iſt und alſo, indem er ſinkt, eine Drehung um den durch den Waſſertropfen feſtgehaltenen Punkt anfängt; dieſe Drehung dauert, nachdem ſie einmal eingetreten iſt, aus ähnlichen Gründen fort, wie die regelmäßigen Schwankungen der Axe eines Kreiſels, wenn dieſer einmal um ſeine nicht genau vertical ſtehende Axe in drehende Bewegung geſetzt iſt. Bei einiger Aufmerkſamkeit kann man dieſe Drehung auf einem reinen, ganz ebnen Glaſe lange Zeit fortdauern laſſen und ſie zu einer großen Schnelligkeit bringen.

Ungleiche Adhäſion verſchiedner Flüſſigkeiten.

Schon bei den Erſcheinungen, die wir an den Haarröhrchen beobachten, zeigten ſich Ungleichheiten, die von der Natur der einzelnen Körper abhängen; der eine flüſſige Körper ward höher, der andre minder hoch in dem Haarröhrchen hinaufgezogen u. ſ. w. Dieſe ſtärkere Verſchiedenheit zwiſchen der Anziehung der Glastheilchen und der Waſſertheilchen, die auf Waſſer wirken, die geringere Verſchiedenheit der auf Alkohol wirkenden Glastheilchen und der Alkoholtheilchen zeigte ſich hier; alſo ſchon etwas von mehr oder minderer Verwandtſchaft. Dieſe tritt aber deutlicher hervor in einem andern, leicht

anzuſtellenden Verſuche. Man gießt in eine flache Schale eine ſehr niedrige Waſſerſchicht, ſo daß der Boden nur wenig bedeckt iſt, und tröpfelt nun etwas Schwefel-Aether ſo hinzu, daß er, mit einiger Gewalt auf die Waſſer-Oberfläche fallend, die Oberfläche des Gefäßes ſelbſt berührt, ſo treibt er das Waſſer zur Seite, indem er ſich über einen breiten Theil des Bodens verbreitet, das Waſſer zieht ſich, wie auf einem fetten Körper, in einzelne Tropfen zuſammen, und erſt wenn der Aether verdunſtet iſt oder auch ſich mit dem Waſſer gemiſcht hat, nimmt das Waſſer ſeinen Platz wieder ein.

Die Erſcheinung beruht offenbar darauf, daß die Glas-Oberfläche oder Porzellan-Oberfläche den Aether mehr anzieht, als das Waſſer, daß ſie alſo, ſobald der Aether nur in einem Punkte ſie berührt hat, ſich des Tropfens bemächtigt, um ihn über alle benachbarten Theile der Oberfläche auszubreiten, wobei dann das Waſſer den Platz räumen muß und anſcheinend abgeſtoßen wird oder zurückflieht. Eben ſolche Verſuche laſſen ſich nun auch mit Flüſſigkeiten, die ſich über andre flüſſige Körper verbreiten, anſtellen. Ein Tropfen fettes Oel breitet ſich über eine Waſſerfläche aus, aber er wird von ätheriſchem Oele zurückgetrieben, und einige Tropfen Wolfsmilchſaft treiben wieder das ätheriſche Oel zurück. Harze in Weingeiſt aufgelöſt wirken eben ſo wie Saft der Wolfsmilch. Link führt noch mehr ähnliche Verſuche an und zieht aus ihnen den Schluß, daß dieſes Beſtreben, ſich der Oberfläche zu bemächtigen, bei den Körpern am ſtärkſten ſey, deren chemiſche Verwandtſchaft auch zu dem die Oberfläche bildenden Körper am größten iſt. Es iſt nämlich aus chemiſchen Verſuchen bekannt, daß das Waſſer zur Schwefelſäure und zum reinen Weingeiſt eine vorzüglich ſtarke Verwandtſchaft hat, und beide zeigen ſich auch vorzüglich wirkſam, um Oele u. dgl. von der Oberfläche des Waſſers zu vertreiben.

Bewegungen, die dieſer ungleichen Adhäſion wegen entſtehen.

Die Stärke dieſer Flächenanziehung, die einigen Körpern gegen andre Körper eigen iſt, läßt ſich auf mehr als eine Weiſe ſichtbar machen. Wenn man auf den trockenen und ganz reinen Boden einer Glasſchale einen Tropfen Weingeiſt bringt, ſo verbreitet er ſich ſogleich über einen bedeutenden Raum, ſtatt daß ein Waſſertropfen dieß in viel geringerem Maaße thut. Wenn man Goldblättchen auf reinem Waſſer ſchwimmen läßt und nun einen Tropfen Weingeiſt oder Aether zwiſchen ſie auf die Oberfläche des Waſſers bringt, ſo ziehen die Goldblättchen ſich vor dem die Oberfläche einnehmenden Tropfen Weingeiſt zurück; dagegen wenn man vorher einen Tropfen einer Auflöſung von Harz in Weingeiſt auf die Oberfläche des Waſſers gebracht hat, ſo bleiben ſie ganz ruhig, weil dieſe Auflöſung ſich der Oberfläche mit ſolcher Gewalt bemächtigt hat, daß ſie nicht ſie einer andern Subſtanz frei läßt.

Bei einigen Verſuchen zeigen ſich dieſe Bewegungen, die aus dem Zurücktreiben einer Subſtanz auf der Oberfläche einer andern entſtehen, noch auffallender. Wenn man einen Tropfen Baumöl auf Waſſer fallen läßt, ſo daß er nur als ein kleiner Kreis, nicht zu weit ausgebreitet, auf demſelben ſchwimmt,

ſo ſieht man, daß dieſer ſich erheblich ausbreitet, wenn man einen Salmiakgeiſttropfen, der an einer Glasröhre hängt, von oben herab demſelben nähert; zieht man den Salmiaktropfen, ehe er das Oel berührt hat, wieder zurück, ſo nimmt das Oel ſeine vorige Geſtalt wieder an, und man kann es ſo abwechſelnd mehr ausgebreitet oder mehr zuſammengezogen erhalten. Ein andrer Verſuch, den Corradori angiebt, der mir aber nicht ſo auffallende Erfolge zu geben ſcheint, iſt der, daß man Korkſtückchen ſtark mit Oel eingerieben auf dem Waſſer ſchwimmen läßt und ihnen einen Tropfen Salmiakgeiſt auch nur nähert, ohne das Waſſer zu berühren. Sie gerathen in eine unregelmäßige Bewegung, zurückgeſtoßen von den Dämpfen des Salmiaks, und zeigen allerdings dieſe Bewegung deutlich genug, jedoch nicht gerade auffallend lebhaft. Dieſen Bewegungen ganz ähnlich ſind nun die, in welche man Kampherſtückchen gerathen ſieht, wenn ſie auf ganz reinem Waſſer ſchwimmen. Bringt man nämlich kleine zerbröckelte Kampherſtückchen auf Waſſer, ſo gerathen ſie, als ob ſie belebt wären, in die mannigfaltigſten Bewegungen, ſie drehen ſich, ſie ſtoßen ſich ab und ſo ferner. Legt man ein Stückchen Kampher auf einen nur ſehr dünn mit Waſſer bedeckten Teller, ſo vertreibt es das Waſſer um ſich herum, weil, wie Corradori wohl ganz richtig behauptet, die aus dem Kampher hervorgehende ätheriſche Subſtanz ſich der Oberfläche des Gefäßes bemächtigt und ſie dem Waſſer entzieht. Eben ſo nun, wie hier dieſe im Kampherdunſte ſich anlegende Subſtanz das Waſſer von dem Beſitze der Oberfläche des Gefäßes vertreibt, ſcheint die Verbreitung der Kamphertheilchen, die ſich dem Waſſer beimiſchen, jene Bewegung der Kampherſtückchen, deren Ausflüſſe dieſe Bedeckung bewirken, hervorzubringen, und dieſe Bewegung wird offenbar dadurch befördert, daß die an jedem Spitzchen am lebhafteſten entſtehende Auflöſung auf die mannigfaltigſte Weiſe auf die Kampherſtückchen einwirkt. Das ſchnelle Verdunſten dieſer flüchtigen Materie iſt, nach Corradori's Meinung, der zweite Grund der Bewegung, weil dadurch jene Verbreitung über die Oberfläche immer wieder Aenderungen leidet. Indeß dauert es nicht lange, ſo hört die Bewegung faſt ganz auf, weil die ganze Waſſer-Oberfläche genug Kampherthei lchen aufgenommen hat und nun ganz damit bedeckt iſt. Bringt man die noch übrigen Kampherſtückchen auf ganz reines Waſſer, ſo fangen ſie ihre Bewegung wieder an. Dagegen mißlingt der Verſuch, wenn ſich nur einige fette oder unreine Beimiſchung im Waſſer befindet.

Brown's Beobachtungen über die ſcheinbar willkürliche Bewegung der kleinſten Körpertheilchen.

Dieſe Urſachen ſind ohne Zweifel auch die Hauptveranlaſſung derjenigen Bewegungen, auf welche durch Brown die Aufmerkſamkeit der Phyſiker gelenkt wurde. Dieſer nämlich beobachtete, zuerſt indem er den Blüthenſtaub mehrerer Pflanzen unter dem Microſcope betrachtete, an den aus den Pollenkörnern bei ihrem Aufbrechen hervorgekommenen kleinen Theilchen, nachher auch bei andern kleinen Theilchen mannigfaltiger Körper, im Waſſer die mannigfaltigſten

Bewegungen, ſo als ob dieſe Theilchen belebt wären. Er glaubte ſich zu überzeugen, daß dieſe Bewegungen nicht durch äußere Umſtände, nicht durch Verdunſtung der Flüſſigkeit u. ſ. w. hervorgebracht würden, und es ſchien alſo, als ob ſie dieſen kleinen Theilchen der Körper eigenthümlich ſeyn müßten, als ob alle Körper aus belebten Grundbeſtandtheilchen zuſammengeſetzt wären. Ueberraſchend iſt es allerdings, dieſe mannigfaltigen Bewegungen unter dem Microſcope zu ſehen, die ganz den zufälligen und willkürlichen Bewegungen kleiner Thierchen gleichen; indeß haben Beobachtungen von Ehrenberg und Schultze wohl hinreichend gezeigt, daß man ſie mit dieſen nicht verwechſeln darf und daß ſie ohne Zweifel nur von äußern Umſtänden abhängen. Da Schultze's Beobachtungen [1] über dieſen Gegenſtand mir vorzüglich belehrend ſcheinen, ſo werde ich daraus das Wichtigſte hier mittheilen. Da man die Bewegungen ſehr leicht erkennt, die einem Fortſtrömen in den Theilen des Waſſertropfens oder einer Erſchütterung ihren Urſprung verdanken, ſo iſt es kaum nöthig, auf dieſe erſt beſonders aufmerkſam zu machen; dagegen können die durch Ausdünſtung bewirkten Bewegungen ſchon weit eher zu Täuſchungen führen. Wenn man die Pollenkörner (Schultze beobachtete die des Lamium purpureum) in einem Waſſertropfen unter das Vergrößerungsglas bringt, ſo platzen ſie, und die hervorbringenden kleinen Körperchen, eben die, an welchen Brown zuerſt ſeine Beobachtung anſtellte, haben eine drehende, zitternde, auf- und abſteigende Bewegung. Dieſe Bewegung iſt viel lebhafter in Weingeiſt, noch lebhafter in Schwefel-Aether, aber faſt ganz gehemmt in Mandelöl. Hieraus läßt ſich allerdings ſchließen, daß die ſtärkere Verdunſtung der Flüſſigkeiten die Bewegung lebhafter macht, wozu das ungleiche Hervorſtrömen dieſer Ausdünſtungen aus den verſchiedenen Theilen der feſten Körper beitragen mag; aber Schultze überzengte ſich, daß die Ausdünſtung nicht die einzige Urſache der Bewegung ſey, denn ſie dauerte fort, auch wenn der Waſſertropfen mit Oel bedeckt war. In dieſem Falle zeigten ſich oft die am lebhafteſten bewegten Theilchen mit kleinen Luftringen oder Dunſtringen verbunden, die erſt nach und nach dem Waſſer geſtatteten, die Theilchen ganz zu durchdringen, und die dabei eintretende Auflöſung einiger Theilchen ſchien der Grund der Bewegung zu ſeyn. Daß wirklich die allmälige Auflöſung und damit verbundene Aenderung der Geſtalt ein Hauptgrund ſolcher Bewegungen, gerade wie bei den Kamphertheilchen, ſey, davon überzeugte er ſich durch das Verhalten von Pulvern in einer mehr oder minder verdünnten Säure, und ſo ſcheint das Meiſte auch hier auf ſolche Umſtände, die wir ſchon von größern Körpern her kennen, hinauszukommen.

Adhäſion der Luft an feſten Oberflächen.

Nach dieſer Abſchweifung kehre ich zu der wichtigen Bemerkung zurück, daß einige Körper eine ſehr große Flächenanziehung zu andern Körpern zeigen,

[1] Microſcopiſche Unterſuchungen über des Herrn Robert Brown Entdeckung lebender Theilchen in allen Körpern von C. A. S. Schultze. Carlsruhe, Herder. 1828.

und daß dabei eine Verwandtſchaft, ein ſtärkeres Anziehen bei dem einen, ein minderes bei dem andern, ſtatt finde. Eben dieſe Flächenanziehung ſcheint auch auf die Luftarten zu wirken und ſie in gewiſſen Fällen ſelbſt da, wo ſie unter ſchwereren flüſſigen Körpern ſich befinden, am Aufſteigen zu hindern. Die Luftblaſen hängen ſich feſt an das Glas und es iſt oft ſchwer, ſie im Waſſer oder im Queckſilber fortzutreiben. Dagegen drängt die Luft ſich zuweilen an der Oberfläche des Glaſes da ein, wo ſie durch eine Queckſilberſäule anſcheinend zurückgehalten wird, und Daniell erklärt daraus die in einem längern Zeitraume ſich im obern Raume der Barometer ſammelnde Luft. Er nimmt nämlich an, daß die wenige Neigung, welche das Queckſilber zu einem dichten Anſchließen an Glas zeigt, der Luft geſtattet, ſich zwiſchen dem Queckſilber und dem Glaſe einzuſchleichen und in den offenen Theil der Röhre eindringend nach und nach in den obern Theil der Röhre, welcher luftleer ſeyn ſollte, zu gelangen. Daniell ſchlägt daher vor, einen Platinring in der Röhre anzubringen, weil dieſer, ohne eine Auflöſung vom Queckſilber zu erleiden, doch durch daſſelbe benetzt wird und den Durchgang der Luft nicht zuläßt. Faraday hat das Entweichen einiger Luftarten, obgleich ſie mit Queckſilber geſperrt waren, noch auf eine andre Art nachgewieſen. Er brachte über Queckſilber eine Miſchung aus Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas in Flaſchen, und ließ ſie, mit Glasſtöpſeln geſchloſſen, mit der Mündung in Queckſilber getaucht, 15 Monate ruhig ſtehen. In dieſer Zeit war ein Theil jener Gasmiſchung durch das Queckſilber, oder an der Glaswand fortgehend, entwichen, und atmoſphäriſche Luft dafür eingedrungen.

Eine merkwürdige, hieher gehörige Erſcheinung, die ſogenannte Diffuſion der Gaſe, hat beſonders Graham genauer unterſucht. Wenn man zwei verſchiedene Gaſe durch einen poröſen Körper, wie getrockneten Gyps, oder durch eine Scheidewand trennt, in der ſich ein feiner Ritz befindet, ſo ſtrömen beide Gaſe langſam und im Allgemeinen mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten durch dieſe feinen Kanäle hindurch, alſo vermehrt ſich auf der einen Seite die Geſammtmenge des Gaſes und es findet ein Austauſch ungleicher Mengen von Gas ſtatt. Iſt z. B. in einer Glasglocke, die einen feinen Sprung hat, Waſſerſtoffgas über Queckſilber abgeſperrt, ſo fängt bald das Queckſilber an zu ſteigen, indem Waſſerſtoff entweicht und an ſeine Stelle ein kleineres Volumen atmoſphäriſcher Luft tritt. Aus ſeinen zahlreichen und ſorgfältigen Verſuchen leitet Graham das Geſetz ab, daß ſich die Gasvolumina, welche in gleichen Zeiten die Scheidewand durchdringen, umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten der Gaſe verhalten, vorausgeſetzt, daß auf beiden Seiten der Scheidewand fortwährend ein gleicher Druck ſtattfindet.[1]

[1] Ein ähnliches, langſames und an Geſchwindigkeit verſchiedenes Durchſtrömen findet bei zwei tropfbaren Flüſſigkeiten ſtatt, wenn dieſelben nur durch einen poröſen Körper mit einander in Verbindung ſind. Dieſe Erſcheinung hat den ziemlich unpaſſenden Namen Endosmoſe erhalten.

Abſorption von Gaſen durch flüſſige und feſte Körper.

Mit großer Gewalt wirkt die Adhäſion bei dem Eindringen von Luftarten in die Poren flüſſiger oder feſter Körper, und wegen der ungemein großen Menge von Luft, welche auf dieſe Art in die Poren der Körper übergeht, iſt man faſt genöthigt, anzunehmen, daß die Luft durch die Adhäſion ſtark verdichtet und in tropfbare Flüſſigkeit verwandelt werde. Ausgemacht iſt, daß ein vollkommen ausgekochtes Waſſer, in einem luftvollen Raume aufbewahrt, Luft von der Art, wie die über ſeiner Oberfläche befindliche, in ſich aufnimmt, daß es dieſe in ſich behält, ſo lange eben der Druck der Luft auf die Oberfläche fortdauert, aber einen Theil davon unverändert entläßt, ſobald der Druck der Luft auf die Oberfläche ſich vermindert. Hiebei findet die Merkwürdigkeit ſtatt, daß ein Waſſer, welches kohlenſaure Luft aufgenommen hat, von dieſer Luft etwas hergiebt, wenn ſich über der Oberfläche atmoſphäriſche Luft befindet, und daß ſie dagegen dann einen Antheil atmoſphäriſcher Luft aufnimmt. Ein eben ſolcher Austauſch, aber in nicht immer gleichen Verhältniſſen der frei gelaſſenen und der neu abſorbirten Luft, findet allemal ſtatt, wenn das Waſſer eine andre Luftart aufgenommen hat und eine andre ſich über ſeiner Oberfläche befindet, und darin hat Dalton einen Hauptgrund für ſeine Behauptung, daß jedes elaſtiſche Fluidum nur auf die ihm gleichartigen Theile einen Druck ausübe, gefunden, daß nämlich eine auf die Waſſeroberfläche drückende kohlenſaure Luft dem Beſtreben der im Waſſer enthaltenen kohlenſauren Luft, aus dem Waſſer hervorzubringen, einen Druck entgegenſetze, während eine eben ſo viel Elaſticität beſitzende atmoſphäriſche Luft dieſes nicht thue. Dieſe Abſorption von Luft bietet übrigens noch mehr Merkwürdiges dar. Bringt man ganz luftfreies, durch Kochen von Luft befreites Waſſer in einen mit einer gewiſſen Luftart gefüllten Raum, ſo nimmt es bei ſchwachem und bei ſtarkem Drucke gleich viel Luft derſelben Art dem Volumen nach auf, nämlich eben ſo viel Maaß doppelt ſo dichter Luft bei doppeltem Drucke, als Luft von der einfachen Dichtigkeit bei dem einfachen Drucke. Wird das Waſſer wärmer, ſo entläßt es etwas Luft. Wenn das luftfreie Waſſer unter dem Drucke einer gemiſchten Luftmaſſe ſteht, ſo nimmt es von allen Luftarten etwas auf, und zwar ſo viel, als es aufnehmen würde, wenn jede der Luftarten in ihrer hier vorhandenen Dichtigkeit allein da wäre. Vermindert ſich der von außen wirkende Druck derjenigen Luftart, die im Waſſer enthalten iſt, ſo tritt ſie zum Theil aus dem Waſſer hervor, und dieſes Hervorkommen wird ſchneller befördert, wenn man feſte Körper, beſonders eckige Körper, hineinbringt; daher ſchäumt Bier mehr auf, wenn man harte Körper hinein wirft, und die Bläschen entwickeln ſich auch ſonſt am Boden des Glaſes am meiſten und vergrößern ſich im Aufſteigen. Die Menge der Luft, welche das Waſſer aufzunehmen fähig iſt, findet man bei verſchiedenen Luftarten ſehr ungleich. Ein Maaß Waſſer nimmt an Waſſerſtoffgas $1/20$ Maaß, an Sauerſtoffgas ungefähr $1/15$ Maaß, an Kohlenſäure 1 Maaß, an ſalzſaurem Gaſe gegen 500 Maaß, an Ammoniakgas gegen

700 Maaß auf. Dabei nimmt das Volumen des Waſſers etwas zu, wenn die Abſorption nur gering, wie bei kohlenſaurer Luft, iſt; aber ſehr erheblich nimmt es zu, wenn die Abſorption ſo viel, wie bei den zuletzt erwähnten Gasarten, beträgt. Auf ähnliche Art verhält es ſich bei andern Flüſſigkeiten, und darauf beruht das heftige Hervorbringen der abſorbirten Kohlenſäure aus Bier und andern Flüſſigkeiten, wenn durch Entfernung des Korkes der Druck der über der Flüſſigkeit abgeſperrten Luft aufgehoben wird, ferner die künſtliche Bereitung von Mineralwaſſern.

Unter den feſten Körpern hat vorzüglich die Kohle die Eigenſchaft, ſehr viele Luft in ſich aufzunehmen. Die verſchiedenartigen Kohlen ſind ſich in dieſer Hinſicht nicht gleich; aber 1 Maaß Buchsbaumkohle, die vorher durch Ausglühen ganz von Luft befreit worden, nimmt über 1 Maaß Waſſerſtoff, 9 Maaß Sauerſtoff, 35 Maaß kohlenſaure Luft, 90 Maaß Ammoniakgas auf. Bei vermindertem Luftdrucke geht ein Theil der abſorbirten Luft wieder hervor, und auch wenn die mit abſorbirter Luft gefüllte Kohle in eine andre Luftart gebracht wird, entläßt ſie etwas von der Luft, die ſie ſchon aufgenommen hatte, und nimmt dagegen etwas von der zweiten Luftart auf. Auch bei andern feſten Körpern findet etwas Aehnliches ſtatt.

Die Verdichtung, welche die Luft in den Poren feſter Körper erfährt, erklärt ſich ziemlich vollſtändig, wenn man bedenkt, daß der gewöhnliche Zuſtand der Gaſe nur durch das Ueberwiegen der gegenſeitigen Abſtoßung der Theile bedingt wird. Kommt nun ein Lufttheilchen mit dem feſten Körper in Berührung, ſo erfährt es hier von der einen Seite eine Anziehung anſtatt der außerdem ſtatt findenden Abſtoßung; es wird alſo von den übrigen Lufttheilchen gegen den feſten Körper gedrückt, ohne daß ſich eine Kraft entgegenſetzt. Dieſe Verdichtung, die in unmerklichem Grade bei jedem Körper ſtatt finden mag, zeigt ſich bei einzelnen in ungleich höherem Grade, und wird beſonders durch chemiſche Einwirkung auf Gasgemenge bemerkbar. Wenn man vollkommen reines Platin, das mit erhitzten, ſtarken Säuren behandelt, dann abgeſpült und bloß durch Wärme getrocknet iſt, in ein Gemenge von Sauerſtoff und Waſſerſtoff bringt, ſo wird durch die bloße Anweſenheit des Platins die Verbindung jener beiden Gaſe zu Waſſer vermittelt. Dieſe Wirkung, die nach Faraday's Verſuchen in ſchwächerm Grade auch andern Körpern zukommt, hängt ſo ſehr von der höchſten Reinheit der Flächen ab, daß ſie unter anderm ſchon durch Abwiſchen mit einem Zeuge vernichtet wird; ſie erklärt ſich durch die ſchon erörterte Verdichtung, mit welcher, wie wir früher ſahen, immer Erwärmung verbunden iſt. Die Atome der beiden Gaſe werden einander durch die Verdichtung am Platin gewaltſam genähert, und da zugleich ihre Verwandtſchaft oder ihr Beſtreben zur Vereinigung durch die Wärme geſteigert wird, ſo verbinden ſie ſich zu Waſſerdampf, der ſich ſogleich ausbreitet und andern Gastheilen Platz macht, bis ſich nach und nach das ganze Gemenge verbunden hat. Wird das Platin in ſehr feiner Vertheilung angewendet, ſo beſchleunigt ſich die Wirkung ſehr wegen der ungemeinen

Vergrößerung der wirkſamen Platinoberfläche; im Weſentlichen bleibt aber der Vorgang derſelbe.

Siebenundzwanzigſte Vorleſung.

Chemiſche Verbindungen.

Die Stufenfolge von Wirkungen der Anziehung, wo zuerſt nur unbedeutende Erfolge durch die Differenz der Wirkung feſter und flüſſiger Körper auf flüſſige entſtanden, wo die Wahlanziehung einer Oberfläche gegen eine Flüſſigkeit mehr als gegen die andre ſichtbar wurde, wo die Luft in hohem Grade verdichtet, aber auch mit einer nach der Natur der Luftart verſchiedenen Gewalt von flüſſigen und feſten Körpern aufgenommen wurde, — dieſe Stufenfolge von Wirkungen ſcheint uns zu jenen mächtigen Wirkungen, welche die Chemie darbietet, gleichſam hinüber zu führen; aber dennoch iſt der Uebergang zu den chemiſchen Wirkungen dadurch noch keineswegs aufgeklärt. Das läßt ſich wohl einſehen, daß die Theilchen eines Flüſſigen, einer Säure zum Beiſpiel, indem ſie einen feſten Körper innig berühren, ſeine Theilchen ſo anziehen können, daß ſie dieſelben nöthigen, die Verbindung mit ihren nächſten Nachbarn aufzugeben, ſich aufzulöſen, in den flüſſigen Körper überzugehen; es läßt ſich einſehen, daß dieſe Anziehungskraft des flüſſigen Körpers auf die nun ſchon getrennten Theile des Feſten viel größer ſeyn mag, wenn dieſe einzeln im Flüſſigen ſchweben, indem nun nicht mehr von der Differenz der Wirkung benachbarter Theile des flüſſigen und des feſten Körpers die Rede iſt, ſondern der flüſſige Körper ſeine ganze, volle Wirkſamkeit ausübt; aber daß bei dieſer großen Einwirkung auf einander nun beide Körper ihre Natur verändern, daß ihre kleinſten Theilchen ſo mit einander in Verbindung treten, daß ein ganz neuer Körper entſteht, das bleibt immer gleich dunkel. Und doch iſt eben dieß der Erfolg der eigentlichen chemiſchen Verbindungen. Bei einigen Miſchungen iſt dieß weniger auffallend oder findet überhaupt noch nicht ſtatt; denn Salz in Waſſer aufgelöſt zeigt noch immer die eigenthümlichen Eigenſchaften des Salzes, und obgleich man nicht durch mechaniſche Mittel das Waſſer mehr davon trennen kann, ſo läßt doch das durch Wärme, durch Abdampfen fortgetriebene Waſſer wieder daſſelbe Salz zurück; aber bei andern Verbindungen iſt die Natur des Körpers ganz verändert, das feſte, glänzende Metall iſt in ein Salz übergegangen, indem es ſich mit einer Säure verband; in dieſer Verbindung iſt es auflöslich im Waſſer u. ſ. w.

Beiſpiele dieſer Art giebt es unzählige. Wenn man ein Stück Kalk (Kreide zum Beiſpiel), in Schwefelſäure legt, ſo löſt ſich nicht nur die Kalkerde völlig auf, ſondern je mehr nach und nach aufgelöſt wird, deſto mehr verliert die Säure von ihrem ſauern Geſchmacke, und verliert dieſen gänzlich, wenn ſie ſo viel Kalk, als ſie überhaupt auflöſen kann, aufgelöſt hat oder damit geſättigt iſt. Durch dieſe Auflöſung entſteht ein Niederſchlag, der

ſich im Waſſer nicht auflöſt, Gyps, ſchwefelſaurer Kalk; ein Körper, in welchem ſich Kalk mit Schwefelſäure verbunden hat, aber ſo innig verbunden, daß man keinen der beiden Beſtandtheile mehr in ſeiner früheren Beſchaffenheit darin wahrnimmt. — Soda, in Salzſäure gelegt, löſt ſich mit großer Lebhaftigkeit aufſchäumend auf, die Säure verliert dabei ihren ſauern, die Soda ihren laugenhaften Geſchmack, und immer mehr, je näher die Auflöſung der Sättigung kömmt, geht der Salzgeſchmack unſers gewöhnlichen Kochſalzes hervor, das ſich auch beim Abdampfen zeigt und alſo als eine Verbindung beider Körper erkannt wird.

Chemiſche Wahlverwandtſchaft.

Daß auch bei dieſen chemiſchen Einwirkungen ſich Ungleichheiten, die von der eigenthümlichen Natur der Körper abhängen, zeigen, läßt ſich wohl erwarten; ſie zeigen aber hier noch auffallendere Erfolge, als in den früher angeführten Erſcheinungen. Wenn man Kalk in Salpeterſäure aufgelöſt hat, ſo iſt eine gleichförmige ungetrübte Auflöſung, die keinen Kalk mehr als unverändert enthält, entſtanden. Setzt man aber dieſer Auflöſung Schwefelſäure zu, ſo fällt ſogleich ein Niederſchlag zu Boden, der im Waſſer unauflöslich iſt, und der ſich ganz dem Gypſe, der ſchwefelſauren Kalkerde gleich zeigt, die wir eben vorhin als aus der Auflöſung des Kalkes in Schwefelſäure entſtehend kennen lernten. Es zeigt ſich alſo die Anziehungskraft der Schwefelſäure gegen Kalkerde mächtiger, als die der Salpeterſäure gegen Kalkerde, und daher nimmt die Schwefelſäure die Kalktheilchen zu einer Verbindung mit ſich auf, indem ſie dieſelben der Auflöſung in Salpeterſäure entreißt.

Man ſpricht daher von einer Verwandtſchaft der Körper unter einander und von einer Wahlverwandtſchaft, vermöge welcher hier die Kalkerde ſich vorzugsweiſe, gleichſam aus Wahl, wegen näherer Verwandtſchaft, der Schwefelſäure hingiebt, während ſie die Salpeterſäure verläßt. Eine eben ſolche Wahlverwandtſchaft, bei welcher die Schwefelſäure den Vorzug hat, zeigt ſich ſchon bei der Auflöſung der Kreide in Schwefelſäure. Kreide iſt kohlenſaure Kalkerde, das heißt, die Kalkerde iſt hier ſchon mit einer Säure, die wir in Luftform als kohlenſaure Luft, kohlenſaures Gas kennen, verbunden; begießt man dieſe kohlenſaure Kalkerde mit Schwefelſäure, ſo löſt dieſe, vermöge ihrer ſtärkern Verwandtſchaft, die Kalkerde auf, befreit aber dadurch die Kohlenſäure von ihrer Verbindung mit der Kalkerde, und wir ſehen dieſe in Luftform, in Blaſen, unter ſtarkem Aufſchäumen entweichen. Ebenſo geſchieht es bei der Auflöſung der Soda, des kohlenſauern Natron, in Salzſäure, und in unzähligen andern Fällen. Eine ganz ähnliche Erſcheinung zeigt ſich dann, wenn zwei Flüſſigkeiten, deren eine einen feſten Körper aufgelöſt enthält, eine größere Verwandtſchaft zu einander, als zu dem feſten Körper haben. Weingeiſt löſt Harz auf, aber ſobald man Waſſer zu dieſer Auflöſung gießt, entſteht ein Niederſchlag; das Waſſer nämlich hat eine ſtärkere Verwandtſchaft zu dem Weingeiſte und nöthigt daher die Harztheile,

ihre Verbindung mit dem Weingeiſte aufzugeben, ſo daß ſie wieder als Harz die Flüſſigkeit trüben und nicht mehr mit dem Weingeiſt verbunden bleiben. Dieſe einfache Wahlverwandtſchaft tritt da ein, wo ein zuſammengeſetzter Körper durch einen einfachen zerlegt, einer jener Beſtandtheile durch dieſen dritten Körper aufgenommen, der andre aber freigelaſſen wird. Dagegen nennt man es doppelte Wahlverwandtſchaft, wenn zu einem zuſammengeſetzten Körper ein andrer zuſammengeſetzter Körper gemiſcht wird, und dieſer ſo beſchaffen iſt, daß ſein einer Beſtandtheil ſich mit dem einen Beſtandtheile des erſtern, ſein zweiter Beſtandtheil ſich mit dem zweiten Beſtandtheile des erſtern verbindet. Blauer Vitriol, eine Verbindung von Kupfer mit Schwefelſäure, löſt ſich im Waſſer auf; ebenſo löſt ſich Soda, eine Verbindung von Natron und Kohlenſäure, im Waſſer auf. Bringt man beide Auflöſungen zuſammen, ſo entſteht eine doppelte neue Verbindung, indem die Kohlenſäure mit dem Kupfer (eigentlich mit dem Kupferoxyd) einen im Waſſer unauflöslichen Körper bildet, der zu Boden fällt, während die Schwefelſäure mit dem Natron in Verbindung tritt, aber als auflösliches Salz im Waſſer aufgelöſt bleibt, ſo daß man es erſt durch Abdampfen aus dem Waſſer herſtellen könnte.

Wenn die Verwandtſchaft des einen Körpers zu einem zweiten nicht hinreicht, um dieſen zweiten von einem dritten zu trennen, ſo wird dieſe Trennung zuweilen dadurch, daß noch eine Mitwirkung eines neuen Körpers zu Hülfe kömmt, zu Stande gebracht. Eiſen zum Beiſpiel hat ein ſtarkes Beſtreben, den Sauerſtoff an ſich zu ziehen, aber dennoch iſt der Sauerſtoff als Beſtandtheil des Waſſers zu innig mit dem zweiten Beſtandtheile des Waſſers, dem Waſſerſtoff, verbunden, als daß jene Anziehung des Eiſens ihn von dieſem trennen könnte. Miſcht man aber Schwefelſäure zu dem Waſſer, in welches das Eiſen gelegt iſt, ſo wird das Waſſer zerſetzt. Die Schwefelſäure nämlich hat zu dem mit Sauerſtoff verbundenen Eiſen (dem Eiſenoxyd) eine ſo ſtarke Verwandtſchaft, daß, indem dieſe ſich mit der Verwandtſchaft des Eiſens zum Sauerſtoff verbindet, der im Waſſer ſo feſt gebundene Sauerſtoff ausgeſchieden wird. Wir haben von dieſer Zerſetzung des Waſſers ſchon bei einer andern Gelegenheit Gebrauch gemacht, nämlich bei dem Füllen der Luftballons mit einer leichten Luftart. Dieſe Luftart iſt nämlich das Hydrogengas oder Waſſerſtoffgas, und man erhält ſie, indem man ein Metall, Eiſenfeile zum Beiſpiel, in verdünnte Schwefelſäure thut; hier wird das Waſſer in ſeine zwei Beſtandtheile, Oxygen oder Sauerſtoff und Hydrogen oder Waſſerſtoff, zerlegt; der erſtere mit dem Metalle verbunden geht in eine Verbindung mit der Schwefelſäure ein, der zweite Beſtandtheil des Waſſers giebt eben jene ſehr leichte Luftart.

Reagentien. Auflöſungen und Niederſchläge.

Aus dieſen Beiſpielen erhellt ſchon, daß es Grade der Verwandtſchaft giebt, indem ein Körper zwar eine Verbindung mit einem zweiten eingeht,

alſo eine Verwandtſchaft zu ihm zeigt, aber dieſe Verbindung verläßt, wenn ſich ihm ein ihm näher verwandter dritter darbietet, und auch von dieſem ſich wieder trennt, wenn ein ihm noch näher verwandter vierter ihm Gelegenheit zu einer neuen Verbindung geſtattet. Auf dieſer Kenntniß der Wahlverwandtſchaften und der Grade dieſer Verwandtſchaften beruht ein großer Theil der Kunſt der analytiſchen Chemie. Man hat nämlich für ſehr viele Körper ſo nahe verwandte Körper kennen gelernt, daß man hoffen darf, durch Hülfe dieſer die Gegenwart jener kennen zu lernen. Von ſolchen Körpern, die man anwendet, um die Gegenwart eines beſtimmten Körpers auszufinden, ſagt man, ſie reagiren auf dieſen, und deshalb heißen ſie Reagentien. Eine der bekannteſten Subſtanzen, die als die Gegenwart des Eiſens nachweiſend dient, iſt die Galläpfeltinctur; die Gallusſäure iſt ſo nahe mit dem Eiſen verwandt, daß ſie aus den meiſten Auflöſungen das Eiſen trennt, und da das mit dieſer Gallusſäure verbundene Eiſen eine ſehr leicht kenntlich werdende, bläulich ſchwarze Färbung hervorbringt, ſo erkennt man die Gegenwart des Eiſens in einer Auflöſung durch das Hinzuthun dieſer Säure und durch den ſich alsdann zeigenden Niederſchlag. Ebenſo hat man andere Reagentien, die die Gegenwart anderer Stoffe kenntlich machen. Dieſe Prüfungsmittel können jedoch dann keine Entſcheidung geben, wenn z. B., der nahen Verwandtſchaft der Gallusſäure mit Eiſen ungeachtet, dennoch das Eiſen an die Körper, von welchen man es zu trennen hoffte, feſter gebunden wäre, ſo daß die Trennung nicht ſtatt fände, und ſo in ähnlichen Fällen bei Reagentien für andere Körper.

Die Reagentien ſind deſto brauchbarer, je ſicherer ihre Verwandtſchaft zu dem aufzuſuchenden Körper das Uebergewicht über die meiſten oder über alle Verwandtſchaften eben des Körpers hat, und je deutlicher ſelbſt ſehr kleine Quantitäten des aufzuſuchenden Körpers durch deutliche Färbung und ähnliche Veränderungen ſichtbar werden. Einige Beiſpiele ſind ſchon bei Gelegenheit der großen Theilbarkeit der Körper vorgekommen.

Die verſchiedenen Mittel, deren man ſich bedient, um bald in den durch Hitze geſchmolzenen, bald in den durch Auflöſung in flüſſigen Zuſtand verſetzten, zuweilen auch in den in feſter Geſtalt unter einander gemiſchten Körpern diejenigen Aenderungen hervorzubringen, welche durch die Verwandtſchaft hervorgehen können, laſſen ſich hier nicht umſtändlicher angeben, indem es hier nur mein Zweck iſt, die allgemeinſten Grundlagen der Chemie anzudeuten. Wenn ein den feſten Körper berührendes Fluidum die Theilchen des feſten Körpers ſtärker anzieht als dieſe einander, und ſo ſtark, daß die Cohäſionskraft überwunden wird, ſo gehen die Beſtandtheile des feſten Körpers nicht allein in die zunächſt anliegenden flüſſigen Theile über, ſondern dieſe treten ſie auch an die entfernteren ab. Jedes Theilchen des flüſſigen Körpers, das noch keinen Theil des feſten Körpers erhalten hat, übt ſeine ganze Gewalt auf dieſe ihm nahe verwandten Theile, die ſich in den benachbarten flüſſigen Theilen ſchon befinden, aus, und indem die dem feſten Körper anliegenden

flüſſigen Theilchen die Beſtandtheile des feſten Körpers den entferntern abtreten, werden ſie ſelbſt deſto mehr wieder fähig, mehr Theile des feſten aufzunehmen. Haben nach und nach alle Theilchen ſchon viel von dem aufzulöſenden Körper aufgenommen, ſo geht die Auflöſung immer langſamer fort, die Kraft, mit welcher die Theilchen des feſten Körpers angezogen werden, vermindert ſich in dem Maaße, wie die Verbindung zu Stande gebracht iſt, und endlich tritt eine Sättigung ein, wobei alle fernere Einwirkung aufhört.

Die Umſtände, welche die ſchnellere Auflöſung eines feſten Körpers in einem flüſſigen befördern, laſſen ſich hieraus leicht erklären. Iſt der feſte Körper durch Pulveriſirung in kleine Stücke zerlegt, ſo bietet er mehr Oberfläche als in größern Stücken dar, und iſt daher dem Auflöſen mehr ausgeſetzt. Wenn man die Flüſſigkeit umrührt oder umſchüttelt, ſo befördert man die Auflöſung, weil die noch ungeſättigten Theile beſſer mit dem aufzulöſenden Körper in Berührung kommen. Auch die Erhöhung der Temperatur wirkt zum Theil mechaniſch auf die ſchnellere Beförderung der Auflöſung, theils indem ſie eine innigere Berührung der Oberfläche des aufzulöſenden Körpers bewirkt, theils indem ſie durch Strömung eine fortwährende Miſchung der noch ungeſättigten Theile mit den geſättigten hervorbringt; aber allerdings zeigt die Wärme auch noch einen andern weſentlichen Einfluß, indem ſie in vielen Fällen das auflöſende Mittel fähig macht, eine größere Menge des aufzulöſenden Körpers in ſich aufzunehmen. Dieſe Verſchiedenheit zwiſchen einem ſehr erhitzten flüſſigen Körper und eben dem Körper im abgekühlten Zuſtande iſt oft ſo groß, daß ſich beim Abkühlen zahlreiche Cryſtalle des vorhin aufgelöſten Körpers niederſchlagen. Alaun zum Beiſpiel löſt ſich in kochendem Waſſer ſo reichlich auf, daß faſt auf jeden Gewichtstheil Waſſer auch ein Gewichtstheil Alaun kömmt, dagegen bei 8° Reaum. ungefähr 18 Theile Waſſer nur 1 Theil Alaun auflöſen; er cryſtalliſirt daher in der Kälte, wenn eine kochende Auflöſung der Sättigung nahe war. Dieſer Umſtand macht die Darſtellung von Körbchen, die wie aus Cryſtall zuſammengeſetzt ausſehen, möglich, wenn man durch Metallſtäbchen, die ein Körbchen bilden, die Cryſtalle veranlaßt, an dieſe angelegt eine regelmäßige Anordnung anzunehmen.

Nicht bloß die Wärme, ſondern auch das Licht hat in manchen Fällen Einfluß auf die Affinitätserſcheinungen, wovon in der Folge Beiſpiele vorkommen werden. Aber einen noch wichtigern Einfluß zeigt die Electricität, ſo daß die electriſche Beſchaffenheit der Körper als höchſt wichtig in Beziehung auf die Verwandtſchaftsgrade anzuſehen iſt; doch davon kann erſt bei den electriſchen Phänomenen die Rede ſeyn.

Alle dieſe einzelnen Umſtände und ſelbſt die genaueſten Beſtimmungen aller Umſtände, die bei der Auflöſung vorkommen, geben uns nur wenig Aufſchluß über das Weſen dieſes Proceſſes. So offenbar es iſt, daß hier die kleinſten Theile der Körper mit vieler Gewalt auf einander wirken, ſo bleibt uns doch die Art, wie ſie ſich ſo innig vereinigen, wie ſie einander ganz zu durchdringen ſcheinen, und wie dadurch die Natur des neuen Körpers ſo ganz

anders beſtimmt wird, endlich wie ſie bei dieſer innigen Vereinigung doch noch immer trennbar bleiben und unter gehörig angeordneten Umſtänden wieder einzeln hervortreten, ſehr dunkel. Die atomiſtiſche Anſicht, welche den Körpern eine weit über die Grenzen unſerer ſinnlichen Wahrnehmung hinaus gehende Theilbarkeit beilegt, kann uns zwar zu einer Verdeutlichung dieſer Erſcheinung dienen, aber die Unſicherheit, ob wir das, was die Grenzen unſerer ſinnlichen Wahrnehmung überſchreitet, richtig anſehen, wird wohl nie gehoben werden. Stellen wir uns indeß die Körper als in ihre feinſten Theilchen zerlegt, und nun das eine Theilchen des einen Körpers mit einem, zwei oder mehr Theilchen des andern feſt verbunden vor, ſo könnte unſerer Wahrnehmung der neue Körper allerdings als ein gleichförmiger, von beiden vorigen ganz verſchiedener Körper erſcheinen, weil dieſe Verbindung ungleichartiger Theilchen weit über die Grenzen deſſen hinausliegt, was wir noch erkennen. Bei dieſer engen Verbindung bliebe aber dennoch die Eigenthümlichkeit der einen Materie wahrhaft ungeändert, obgleich das vereinte Wirken zweier Materien auf unſere Sinne uns nicht mehr geſtattet, jene Eigenthümlichkeit wahrzunehmen; die doch immer nur neben einander liegenden, wenn gleich durch ſtarke Anziehungskräfte an einander geknüpften Beſtandtheile blieben immer fähig, einzeln wieder in neue Verbindungen einzugehen, ſobald ſtärkere Kräfte als die, welche die vorige Verbindung erhielten, dazu Veranlaſſung gäben. Wenn wir es uns ſo denken, ſo iſt es zwar freilich möglich, daß wir in unſerm Schließen von dem Bekannten auf das Unbekannte irren; aber doch ſcheint es immer der am wenigſten unſichere Weg in der Naturforſchung zu ſeyn, wenn wir die Erſcheinungen unter ſinnliche Vorſtellungen bringen und uns die Vorſtellung von dem, was unſre Sinne nicht mehr erkennen, durch Vergleichung mit dem deutlich Erkennbaren erleichtern.

Einfache Körper.

Die Eintheilung der einfachen, nicht weiter zerlegbaren Körper (Elemente) hat bei den jetzt ſehr erweiterten und tiefer gehenden chemiſchen Kenntniſſen große Schwierigkeit, und wenn gleich von der einen Seite die große Reihe metalliſcher Körper ſich ziemlich leicht als eine Hauptclaſſe darſtellt, ſo iſt es doch dagegen gar nicht leicht, bei den übrigen als einfach erkannten Körpern gewiſſe gleiche Eigenthümlichkeiten anzugeben, oder bequeme Merkmale, nach welchen ſie wieder eingetheilt werden könnten, nachzuweiſen. Gmelin's Bemerkung, daß bei jeder Verbindung zweier Stoffe der eine mehr als chemiſch formendes Princip, der andere mehr als chemiſch geformtes Princip angeſehen werden könne, und daß die nicht metalliſchen Stoffe den Character des formenden Princips vorzugsweiſe beſitzen, ſcheint die Eintheilung noch am meiſten ins Licht zu ſtellen; doch da ich hier nicht in den ganzen Umfang dieſer Unterſuchung einzugehen wagen darf, ſo will ich mich mehr bemühen, von einigen bekanntern und wichtigern, mit andern Zweigen der Phyſik in näherer Beziehung ſtehenden Stoffen etwas zu ſagen, als mich über alle zu verbreiten.

Sauerſtoff.

Manche einfache Stoffe kennen wir nur in luftförmiger Geſtalt. Ein ſolcher Stoff iſt der Sauerſtoff, das Oxygen, der ſo genannt worden iſt, weil man eine Zeit lang ſich berechtigt glaubte, anzunehmen, daß die Säuren nur durch ſeine Verbindung mit andern Körpern entſtänden. Der Sauerſtoff iſt in der größten Menge auf der Erde vorhanden, indem er einen Hauptbeſtandtheil der Atmoſphäre, ſo wie einen Hauptbeſtandtheil des Waſſers ausmacht und faſt mit allen Körpern Verbindungen eingeht. Bei der Verbindung mit gewiſſen Körpern, z. B. Kohlenſtoff, Phosphor, Schwefel und andern, bildet er Säuren, die ſich nicht allein durch ſauern Geſchmack, ſondern auch durch ihre Eigenſchaft, mehrere blaue Pflanzenfarben zu röthen und mit alcaliſchen Körpern und Metallen Salze zu bilden, auszeichnen. Der Sauerſtoff iſt derjenige Beſtandtheil der Luft, welcher das Verbrennen unterhält und beim Athmen das Leben zu erhalten dient. Er verbindet ſich mit den Metallen zu Oxyden, mit der Kohle beim Verbrennen zu kohlenſaurer Luft u. ſ. w.

Waſſerſtoff.

Ihm in gewiſſer Hinſicht gegenüberſtehend (bei der electriſchen Beſchaffenheit der Körper kömmt er als dem poſitiven Ende nahe ſtehend vor, ſo wie der Sauerſtoff dem negativen) iſt der Waſſerſtoff, das Hydrogen, den wir auch nur in Luftform einfach darſtellen können. Er iſt im Waſſer mit dem Sauerſtoff zu einem Körper verbunden und hat daher, als Waſſer bildend, ſeinen Namen. Die Waſſerſtoffluft, das Hydrogengas, iſt eine brennbare Luft, die erhitzt ſich entzündet und fortbrennt, wenn Zutritt des Sauerſtoffgaſes ſtatt findet. Bei dieſer Verbrennung verbinden ſich dieſe Luftarten zu Waſſer, und zwar ſo, daß ein Maaß Sauerſtoffgas verzehrt wird, indem zwei Maaß (dem Volumen nach) Waſſerſtoffgas verbrennen. Da das ſpecifiſche Gewicht des Sauerſtoffgaſes 16,026 mal ſo groß, als das des Waſſerſtoffgaſes iſt, ſo machen alſo 16,026 Gewichtstheile Sauerſtoff und 2 Gewichtstheile Waſſerſtoff zuſammen Waſſer, oder in 1000 Gewichtstheilen Waſſer ſind 889 Gewichtstheile Sauerſtoff, 111 Gewichtstheile Waſſerſtoff. Obgleich ſich der Waſſerſtoff hier, ſo wie der Sauerſtoff, als eine geſchmack- und geruchloſe Subſtanz, das reine Waſſer darſtellend, zeigt, ſo hat doch auch er die Eigenſchaft, durch ſeinen Zutritt Säuren zu bilden, die zum Theil von eben ſo kräftigen Wirkungen ſind, als die Sauerſtoffſäuren. Mit dem Chlor bildet der Waſſerſtoff die Salzſäure oder das ſalzſaure Gas, eine ſehr ſtarke Waſſerſtoffſäure.

Das Waſſer entſteht durch Verbrennen des Waſſerſtoffgaſes in Sauerſtoffgas, und umgekehrt kann man Waſſerſtoffgas aus dem Waſſer darſtellen, theils in den oben ſchon erwähnten Proceſſen, wo Waſſer mit Hülfe einer Säure, die auf ein Metall einwirkt, zerſetzt wird, theils indem man Waſſer durch eine weiß glühende eiſerne Röhre gehen läßt, wo der Sauerſtoff des Waſſers ſich zu einem Eiſenoxyd mit dem Eiſen verbindet und der Waſſerſtoff als Waſſerſtoffgas frei wird.

Stickſtoff.

Ein dritter Stoff, den wir nur luftförmig kennen, iſt der Stickſtoff. Die Stickſtoffluft macht einen ſehr großen Theil der atmoſphäriſchen Luft aus; ſie iſt allein nicht geeignet, das Verbrennen zu unterhalten, und eben ſo wenig iſt ſie tauglich zur Erhaltung des thieriſchen Lebens. Der Stickſtoff verbindet ſich chemiſch in verſchiedenen Verhältniſſen mit dem Sauerſtoff und bildet Säuren, unter denen die Salpeterſäure die bekannteſte iſt. Mit Waſſerſtoff verbunden giebt er Ammoniak.

Eudiometer.

Als Beſtandtheil der atmoſphäriſchen Luft hat er zu der Unterſuchung der Luftgüte oder zur Beſtimmung des Antheils athembarer Luft, der ſich in der Atmoſphäre findet, geführt. Dieſe Unterſuchung hat man Eudiometrie genannt und die Inſtrumente, deren man ſich dazu bedient, Eudiometer. Da der Gegenſtand ſo tief in das Gebiet der Meteorologie und der Kenntniß der Atmoſphäre eingreift, ſo darf ich ihn hier nicht ganz übergehen, jedoch will ich nur zwei Arten, die Menge des in der Luft enthaltenen Sauerſtoffgaſes zu beſtimmen, angeben, nämlich diejenigen, die mich am wenigſten nöthigen, in tiefere und mannigfaltigere chemiſche Angaben einzugehen.

Der Phosphor verbindet ſich mit dem Sauerſtoff zu Phosphorſäure und nimmt ſo, in einem ſehr langſamen Verbrennen, den Sauerſtoff aus der Luft auf. Hat man nun atmoſphäriſche Luft nach beſtimmtem Maaße in eine weite Glasröhre gethan und über Queckſilber geſperrt ein Stück Phosphor hineingebracht, ſo wird nach und nach das Sauerſtoffgas abſorbirt, und der endlich übrig bleibende Reſt von reiner Stickluft zeigt, welchen Antheil von beiden Gasarten die angewandte atmoſphäriſche Luft enthielt. Man ſperrt die Luft mit Queckſilber, da aus dem Waſſer ſich Luft entwickeln oder von demſelben Luft aufgenommen werden könnte, aber etwas Waſſer muß man, damit es die Phosphorſäure aufnehme, in den geſperrten Raum bringen. Man könnte durch höhere Temperatur die Vollendung der Zerſtörung des Sauerſtoffes beſchleunigen, was aber leicht ein Zerſprengen der Röhre zur Folge hat, wenn man dieſes nicht etwa durch langſames Hinzulaſſen der zu prüfenden Luft hindert. Ein auffallender Umſtand bei dem langſamen Verbrennen des Phosphors in niedrigen Temperaturen iſt, daß es in ganz reinem Sauerſtoffgas nicht eintritt, ſondern die Entwicklung der mit Sauerſtoff verbundenen Phosphordämpfe einen geſchwächten Druck des Sauerſtoffgaſes fordert, wenn ſie eintreten ſoll.

Ein zweites eudiometriſches Mittel bietet das Verbrennen oder Verknallen des Waſſerſtoffgaſes dar, wenn es mit Sauerſtoffgas verbunden iſt. Man bringt in eine aus ſtarkem Glaſe verfertigte Maaßröhre eine Quantität der zu prüfenden Luft, ſetzt ihr reines Waſſerſtoffgas zu und läßt dann einen electriſchen Funken durchſchlagen, der das Gemiſch entzündet, wenn ſich Sauerſtoffgas darin befindet. Nach dem Explodiren ſieht man, wie viel Maaß Luft

verloren gegangen, bei dem Verbrennen in Waſſer verwandelt worden ſind, und ein Drittel dieſer Quantität iſt der aufgezehrte Antheil an Sauerſtoffgas, weil mit jeden 2 Maaß Waſſerſtoffgas 1 Maaß Sauerſtoffgas verzehrt wird. Hätte man zu wenig Waſſerſtoffgas zugeſetzt, ſo würde man das daran erkennen, daß der ganze Luftverluſt nach dem Explodiren 1½mal ſo viel als die zugeſetzte Luft betrüge; in dieſem Falle könnte noch Sauerſtoffgas übrig geblieben ſeyn, und es iſt daher nothwendig, ſogleich ſo viel Waſſerſtoffgas zuzuſetzen, daß es dem Volumen nach mehr als das Doppelte der in der Miſchung vorhandenen Sauerſtoffluft beträgt. Wenn eine Miſchung ſehr wenig Sauerſtoffgas enthält, ſo entzündet ſich die zugeſetzte Waſſerſtoffluft nicht, und man muß durch einen Zuſatz von Oxygengas, den man nachher wieder in Abzug bringt, die Verbrennung vorbereiten.

Die wichtige Frage, durch welche Mittel die Natur das Verhältniß der beiden in der Atmoſphäre enthaltenen Luftarten beſtändig beinahe unverändert erhält, iſt noch immer nicht ganz beantwortet. Auf mannigfaltige Weiſe wird immerfort und in großer Menge Sauerſtoff aus der Atmoſphäre zu andern Verbindungen verbraucht, vorzüglich in dem Athmen der Thiere und in dem Verbrennen, wo Kohlenſäure auf Koſten eines Antheils Sauerſtoffgas erzeugt wird, und dennoch finden wir die Menge dieſer Luftart in Räumen, die irgend Zutritt der äußern Luft geſtatten, immer gleich. Man hat zwar ſchon lange gewußt, daß die Pflanzen bei geſunder und friſcher Vegetation im Sonnenlichte Sauerſtoffgas erzeugen, aber da ſie bei Nacht und ſelbſt im Schatten dieſe Luftart wieder in ſich aufnehmen, ſo hat man es zweifelhaft gefunden, ob die Vegetation jene Gleichheit herſtellen könne. Indeß kennen wir bis jetzt keinen in der Atmoſphäre vorkommenden Proceß, der geeignet wäre, den durch Athmen, Verbrennen und andre chemiſche Verbindungen verloren gehenden Sauerſtoff zu erſetzen, und dürfen daher doch wohl glauben, daß dieſer Erſatz durch die Pflanzen ſtatt finde, wenn gleich unſre Verſuche im Kleinen und in geſperrten Gefäßen nicht geeignet ſind, uns darüber völlig zu verſichern, um ſo weniger, da das friſche Wachſen und Gedeihen der Pflanzen im eingeengten Raume leicht gehindert wird und doch dieſes völlig geſunde Gedeihen der Pflanzen zu Hervorbringung des Sauerſtoffgaſes erforderlich zu ſeyn ſcheint.

Kohlenſtoff. — Schwefel.

Auch den Kohlenſtoff als eine der merkwürdigſten einfachen Subſtanzen kann ich hier nicht ganz übergehen. Die gewöhnliche Kohle enthält ihn, aber verbunden mit Waſſerſtoff und einigen andern Materien; im Diamant dagegen, der einer völligen Verbrennung fähig iſt, ſcheint kein andrer Stoff mit ihm gemiſcht zu ſeyn. In der Weißglühehitze, in der Hitze des Verbrennens, verbindet ſich der Kohlenſtoff mit dem Sauerſtoff zu der Kohlenſäure, die als elaſtiſche Flüſſigkeit, kohlenſaure Luft, fixe Luft, ſich darſtellt. Dieſe Kohlenſäure findet ſich in unzähligen Körpern gebunden, mit den erdigen

u. a. Beſtandtheilen der Körper vereinigt, und entweicht, wie ich ſchon gelegentlich erwähnt habe, in Form von zahlreichen Luftblaſen, in einem Aufſchäumen, wenn ſie einem näher verwandten Körper denjenigen Beſtandtheil, mit welchem ſie verbunden war, überlaſſen muß, z. B. bei der Auflöſung der kohlenſauern Kalkerde in Schwefelſäure.

In dieſer Verbindung erſcheint der Kohlenſtoff als chemiſch geformtes Princip, als Baſis einer Säure, verbunden mit dem Sauerſtoff als formendem Princip; aber er zeigt ſich in andern Fällen auch als formendes Princip. Auf ähnliche Weiſe iſt es mit dem Schwefel der Fall, der mit Sauerſtoff Schwefelſäure bildet und mit Waſſerſtoff verbunden eine andre, jedoch ſchwache Säure darſtellt; aber in ſeiner Verbindung mit Metallen, in den Schwefelmetallen, giebt er allen dieſen Verbindungen gemeinſchaftliche Eigenſchaften, die ihn als das formende Princip zeigen.

Chlor.

Nachdem man bei mehreren Säuren die Ueberzeugung erlangt hatte, daß ſie aus einem ihre Baſis bildenden Beſtandtheile durch Verbindung mit Sauerſtoff hervorgingen, glaubte man annehmen zu dürfen, daß alle Säuren auf dieſe Weiſe entſtänden, und die Salzſäure, deren Grundbeſtandtheil man nicht hatte entdecken können, wurde als aus einem ſolchen — wenn gleich unbekannten — Radical und aus Sauerſtoff beſtehend angeſehen. Eine Luftart, die anſcheinend aus der Salzſäure mit Oxygen verbunden hervorging, erhielt den Namen oxygenirte Salzſäure. Aber faſt zu gleicher Zeit machten Gay-Luſſac und Thenard, in Verbindung mit einander, und Davy, ohne durch ihre Arbeiten geleitet zu ſeyn, die Entdeckung, daß eben dieſe oxygenirte Salzſäure (oxygenirt ſalzſaure Luft) ein einfacher Stoff ſey. Unter den Verſuchen, die zu dieſer Ueberzeugung führten, kann ich hier nur den einen erwähnen, daß die von Waſſerſtoff und Feuchtigkeit völlig befreite Kohle weißglühend erhalten in dieſer Luftart dennoch unverändert blieb, ſo ſehr ſie ſonſt in dieſer Hitze den Sauerſtoff aufzunehmen geneigt iſt. Dieſer Verſuch (der allein ſtehend freilich allenfalls eine andre Auslegung erlaubte), mit vielen andern verbunden, lehrte die Einfachheit jener Luftart, die nun Chlor, Chlorgas genannt wurde, kennen. Die Beobachtung, daß man Sauerſtoff aus der oxygenirten Salzſäure da erhalte, wo Salzſäure hervorgeht, war ganz richtig; aber man hatte mit Unrecht dieß für eine Zerlegung jener elaſtiſchen Flüſſigkeit gehalten und nicht darauf geachtet, daß die Erſcheinung nur ſtatt findet, wenn Waſſer mit dabei zugegen iſt; mit Rückſicht hierauf aber lautet die Erklärung des Hervorgehens der Salzſäure und des Oxygens aus dem Chlorgas und dem Waſſer ganz anders, nämlich daß das zerſetzte Waſſer uns ſein frei gewordenes Oxygen darbietet, die Salzſäure aber aus Chlor und Hydrogen, dem andern Beſtandtheile des Waſſers, entſtanden iſt. — Ich ſehe wohl, daß in dieſer Darſtellung der Vorzug dieſer Erklärung vor der frühern nicht hinreichend kenntlich wird, aber darauf kann ich auch bei der

hier erforderlichen Kürze nicht Anſpruch machen, und meine Abſicht iſt nur die wichtige Bemerkung, daß es Hydrogenſäuren giebt, wenigſtens an dieſem merkwürdigen Beiſpiele zu zeigen.

Metalle.

Ich übergehe die übrigen als einfach anerkannten oder angenommenen Körper, die ſich an die bisher betrachteten anſchließen, und bemerke von der zweiten großen Reihe einfacher Körper, den Metallen, nur, daß ſie bei Verbindungen immer als diejenigen Beſtandtheile ſich zeigen, welche dieſen Verbindungen als Baſis, als Subſtrat, dienen, ihre beſtimmte Form, als Oxyde, als Salze, als Schwefelmetalle u. ſ. w. aber jenen Stoffen verdanken. Alle Metalle ſind in ihrem einfachen Zuſtande undurchſichtig und beſitzen den bekannten Metallglanz; ſie ſind gute Leiter der Electricität, übrigens zu den mannigfaltigſten Verbindungen mit jenen eben vorhin betrachteten einfachen Körpern und den aus ihnen ſchon hervorgegangenen Verbindungen geeignet. Von dieſen höchſt mannigfaltigen Verbindungen will ich nur zwei erwähnen, die Oxyde als Verbindungen eines Metalls mit Sauerſtoff, und die Salze als Verbindungen dieſer Oxyde mit Säuren. Unter den Oxyden nehmen auch die ſonſt ſogenannten feuerbeſtändigen Alcalien ihren Platz ein, indem ſich ans dieſen durch Trennung des Sauerſtoffs eigenthümliche Metalle darſtellen laſſen. Daſſelbe gilt von der Kalkerde, Schwererde, Thonerde u. ſ. w.

Zuſammenſetzungen der Körper nach feſten Verhältniſſen.

Wenn man die Auflöſungen der Körper, ſo wie die verſchiedenen Körper, die aus einerlei Beſtandtheilen gebildet ſind, oberflächlich betrachtet, ſo kann man zu dem Gedanken, als ob das Verhältniß der Beſtandtheile in dieſen zuſammengeſetzten Körpern ſehr zufällig ſey, veranlaßt werden; aber dieſe Meinung iſt unrichtig, und die Körper befolgen dagegen in ihren Verbindungen meiſtens ſehr einfache und allemal ſehr beſtimmte Verhältniſſe. Nur da, wo bei der chemiſchen Verbindung keine weſentlich neue Eigenſchaften hervorgehen, wie z. B. wenn Weingeiſt ſich mit Waſſer miſcht, kann, obgleich wir dieſe Miſchung nicht mit einer bloß mechaniſchen Mengung verwechſeln dürfen, ein ſehr mannigfaltiges Verhältniß der Miſchungstheile eintreten.

Von dem einfachen Verhältniſſe in Rückſicht der Quantität der Miſchungstheile habe ich kurz vorher ſchon ein Beiſpiel angeführt, und es iſt nicht etwa nur beinahe, ſondern ſtreng wahr, daß aus einem Maaß Sauerſtoffgas und zwei Maaß Waſſerſtoffgas Waſſer entſteht. Und ſo wie hier das 1 und 2 ſo einfach vorkommt, ſo iſt es in unzähligen andern Fällen. 1 Maaß Chlorgas verbindet ſich mit 1 Maaß Waſſerſtoffgas zu 2 Maaß ſalzſaurem Gas, — nur unter der Einwirkung des Lichtes. — 1 Maaß Sauerſtoffgas verbindet ſich mit 2 Maaß Stickgas zu einer eigenen Luftart, dem oxydirten Stickſtoff; dagegen 1 Maaß Sauerſtoffgas mit 1 Maaß Stickgas zum Salpetergas.

Bei andern Verbindungen, wo die Stoffe nicht in Luftform vorhanden

ſind, läßt ſich die Regelmäßigkeit nach den Gewichten überſehen. Der Schwefel verbindet ſich mit dem Sauerſtoff zu vier verſchiedenen Säuren; nach Berzelius Angabe entſteht die erſte, wenn ſich 1 Gewichtstheil Sauerſtoff mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel verbindet, die zweite, wenn ſich 2 Gewichtstheile Sauerſtoff mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel verbinden, die dritte, wenn ſich $2^1/_2$ Gewichtstheile Sauerſtoff mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel verbinden, die vierte (die Schwefelſäure) endlich, wenn ſich 3 Gewichtstheile Sauerſtoff mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel verbinden. Ebenſo kennt man vier Orydationsſtufen des Stickſtoffs, in welchen 1, 2, 3, 5 Gewichtstheile Sauerſtoff mit 1,77 Gewichtstheilen Stickſtoff verbunden ſind; hiebei iſt zugleich in den Raummaaßen das Merkwürdige, daß 2 Maaß Stickgas mit 1 Maaß Sauerſtoffgas, mit 2 Maaß Sauerſtoffgas, mit 3 Maaß, mit 5 Maaß Sauerſtoffgas dieſe Verbindungen geben. [1]

Eine ebenſo merkwürdige Zahl, als es 2,01 beim Schwefel war, iſt 3,39 beim Eiſen, 3,96 beim Kupfer. Es verbinden ſich nämlich 3,39 Gewichtstheile Eiſen mit 1 Gewichtstheil Sauerſtoff zu Eiſenorydul und mit $1^1/_2$ Gewichtstheilen Sauerſtoff zu Eiſenoryd; es verbinden ſich 3,96 Gewichtstheile Kupfer mit $^1/_2$ Gewichtstheil Sauerſtoff zu Kupferorydul, mit 1 Theil Sauerſtoff zu Kupferoryd. Und eben dieſe Zahlen finden ſich nun auch bei den Verbindungen dieſer Metalle mit Schwefel, mit Schwefelſäure u. ſ. w. wieder. Das Eiſen bildet nämlich drei Verbindungen mit Schwefel, und zwar ſo, daß 3,39 Gewichtstheile Eiſen mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel die erſte, 3,39 Gewichtstheile Eiſen mit $1^1/_2$. 2,01 (oder mit 3,015) Gewichtstheilen Schwefel die zweite, endlich 3,39 Gewichtstheile Eiſen mit zweimal 2,01 oder 4,02 Gewichtstheilen Schwefel die dritte bilden. Und ebenſo iſt im Schwefelkupfer ein Gewichtsantheil von zweimal 3,96 Kupfer zu 2,01 Gewichtstheilen Schwefel.

An dieſe Erfahrungen knüpft ſich wohl ſehr natürlich der Gedanke, daß dieſe Verbindungen auf eine Vereinigung beſtimmter Atome dieſer Subſtanzen mit einander hindeuten. Nimmt man an, daß 1 Atom Sauerſtoff ſich mit 2 Atomen Waſſerſtoff zu Waſſer verbindet, ſo folgt man genau dem, was die Verhältniſſe der Räume angeben, und ebenſo darf man annehmen, daß 1 Atom Chlor, mit 1 Atom Waſſerſtoff verbunden, die Salzſäure, Hydrochlorſäure giebt. Hieraus ergiebt ſich dann das, was man Atomengewicht nennt, von ſelbſt. Die Abwägung zeigt, daß 88,9 Gewichtstheile Sauerſtoff mit 11,1 Gewichtstheilen Waſſerſtoff Waſſer bilden; da wir in dem letztern Gewichte wegen des doppelten Volumens doppelt ſo viel Atome als im erſtern annehmen, ſo iſt 88,9 zu 5,55, oder 100 zu 6,24, das Verhältniß der Atomengewichte beider Körper, und wenn wir 100 als das Atomengewicht des Sauerſtoffs annehmen, ſo iſt das des Waſſerſtoffs 6,24, das des Waſſers = 112,5 (nämlich 100 und zweimal 6,24).

[1] Das ſpecifiſche Gewicht des Sauerſtoffgaſes verhält ſich zu dem des Stickgaſes wie 1,1026 zu 0,976, oder wie 1 zu 0,88, oder wie 2 zu 1,77.

Um Sie nicht mit allzuvielen Zahlen zu unterhalten, will ich nur die oben angeführten Beiſpiele noch auf die Atomenzahlen zurückführen. Wenn das Atomengewicht des Schwefels = 201 geſetzt wird, ſo gehen die vier Verbindungen mit dem Sauerſtoff hervor, wenn ſich 2 Atome Schwefel mit 2 Atomen oder mit 4 Atomen oder mit 5 Atomen oder mit 6 Atomen Sauerſtoff verbinden. [1] In der letzten Verbindung, welche unter dem Namen Schwefelſäure bekannt genug iſt, ſind alſo an

1 Atom Schwefel = 201
3 Atome Sauerſtoff = 300 gebunden, und das Atomengewicht der

Schwefelſäure muß = 501 ſeyn.

Eben die Gründe veranlaſſen zu der Vorausſetzung, daß 2 Atome Sauerſtoff mit 2 Atomen Eiſen (oder 1 Atom mit 1 Atom) verbunden Eiſenoxydul geben, und 2 Atome Eiſen mit 3 Atomen Sauerſtoff verbunden Eiſenoxyd. Hiernach wären alſo

1 Atom Eiſen = 339
1 Atom Sauerſtoff = 100

alſo ein Atom Eiſenoxydul = 439, als Atomengewicht des Eiſenoxyduls. Das Eiſenoxydul bildet mit der Schwefelſäure das bekannte Salz, den Eiſenvitriol, grünen Vitriol, ſchwefelſaures Eiſenoxydul, und zwar entſteht dieſes aus 501 Gewichtstheilen Schwefelſäure gegen 439 Gewichtstheile Eiſenoxydul, ſo daß man ſagen darf, 1 Atom Schwefelſäure verbindet ſich mit 1 Atom Eiſenoxydul. Damit das Salz ſich bilde, iſt noch ein Zutritt von 670 Gewichtstheilen Waſſer nöthig, welche 6 Atome Sauerſtoff enthalten. Die Verbindung iſt alſo entſtanden aus 1 Atom Schwefel, 3 Atomen Sauerſtoff zu Schwefelſäure, aus 1 Atom Eiſen mit 1 Atom Sauerſtoff zu Eiſenoxydul, und 12 Atomen Waſſerſtoff mit 6 Atomen Sauerſtoff zu Waſſer.

Ebenſo weiſen ſich die Atome nach im Kupfervitriol, dem bekannten blauen Vitriol. Er bildet ſich aus 1 Atom Kupferoxyd, 1 Atom Schwefelſäure, 5 Atomen Waſſer, oder, den Gewichtsverhältniſſen nach, aus

496 Gewichtstheilen Kupferoxyd,
501 Gewichtstheilen Schwefelſäure,
562 Gewichtstheilen Waſſer,

und in dieſen ſind verbunden 396 = 1 Atom Kupfer
mit 100 = 1 Atom Sauerſtoff

zu 496 = 1 Atom Kupferoxyd.

Ferner: 201 = 1 Atom Schwefel
mit 300 = 3 Atomen Sauerſtoff

zu 501 = 1 Atom Schwefelſäure.

[1] 1 Atom Schwefel mit 1 Atom Sauerſtoff giebt die erſte, 1 Atom Schwefel mit 2 Atomen Sauerſtoff die zweite, 2 Atome Schwefel mit 5 Atomen Sauerſtoff die dritte, 1 Atom Schwefel mit 3 Atomen Sauerſtoff die vierte.

Endlich 500 = 5 Atomen Sauerſtoff
mit 62 = 10 Atomen Waſſerſtoff
zu 562 = 5 Atomen Waſſer.

Dieſe Beiſpiele werden wohl hinreichen, um die Veranlaſſung und den Sinn der Beſtimmungen zu zeigen, die man als Atomengewichte der einfachen und der zuſammengeſetzten Körper aufführt. Daß man da 1 Atom Waſſer, beſtehend aus 3 Atomen, in etwas anderm Sinne nehmen muß, als das Wort: Atom — untheilbar — eigentlich geſtattet, verſteht ſich von ſelbſt. Daß es manche Schwierigkeiten giebt, welche die Entſcheidung, ob man von dem Zutritte eines Atoms oder zweier Atome ſprechen ſoll, betreffen, läßt ſich leicht überſehen. Daß die Frage, wie ſtreng denn in einzelnen Fällen die chemiſchen Analyſen die Behauptung eines genauen Zuſammentreffens der Erfahrung mit dieſen Angaben geſtatten, ein möglichſt ſorgfältige Beantwortung verdient, und ähnliche Betrachtungen kann ich hier nur obenhin andeuten, da der Umfang deſſen, was hieher gehört, viel größer iſt, als daß es hier, wo nur einige Hauptbetrachtungen erörtert werden ſollten, vollſtändig dargeſtellt werden könnte.

Auf dieſe Angabe der Atomenzahl gründet ſich eine kurze Bezeichnung der Zuſammenſetzung der Körper, indem die Anfangsbuchſtaben des Namens eines Stoffes mit einer Zahl, welche die Anzahl der Atome angiebt, verſehen iſt. Da das Oxygen vorzüglich oft vorkömmt, ſo wird dieß durch beigeſetzte Punkte angegeben, z. B. $\dddot{S}$ bedeutet, daß 1 Atom Schwefel (Sulphur) mit 3 Atomen Sauerſtoff verbunden iſt, alſo bedeutet $\dddot{S}$ Schwefelſäure; ebenſo $\dot{C}u$ (Cuprum) 1 Atom Kupfer mit 1 Atom Oxygen, und daher $\dddot{S} . \dot{C}u$ = ſchwefelſaures Kupferoxyd oder Kupfervitriol, wenn man das Cryſtalliſationswaſſer nicht berückſichtigt.[1] Wären hier 2 Atome Schwefelſäure in der Verbindung, ſo ſchriebe man $\dddot{S}^2$.

Ich breche dieſe Darſtellung einiger Hauptanſichten aus der Chemie ab, um jetzt zu der Lehre vom Lichte überzugehen. Ueber die Theorie des Verbrennens und über die electro-chemiſche Theorie wird an den Stellen, wo es mehr hin gehört, noch etwas Ausführlicheres vorkommen.

Achtundzwanzigſte Vorleſung.

Unter den Erſcheinungen, welche wir aus imponderabeln Materien ableiten, gehören die Erſcheinungen des Lichtes zu den mannigfaltigſten und wundervollſten. Eine große Anzahl dieſer Erſcheinungen iſt uns Allen bekannt; wir ſind geneigt, ſie dem von der Sonne oder andern leuchtenden Körpern ausgehenden Lichte zuzuſchreiben, und es ſo anzuſehen, als ob Körperchen, die

[1] Ich bin hier Gmelin gefolgt; einige andre Angaben haben $\dot{C}u . \dddot{S}^2$, weil ſie beim Kupfer Doppelatome rechnen.

wir uns als Lichtmaterie denken, von jenen Körpern ausgeſendet werden, vom Spiegel zurückgeworfen werden, im Brennpunkte des Brennglaſes zuſammentreffen und ſo ferner. Ob wir es mit Recht ſo anſehen, ob alle Erſcheinungen dieſer **Emiſſionstheorie**, welche ein Ausgehen der Lichttheilchen von dem leuchtenden Körper annimmt, gemäß erklärt werden können, das zu entſcheiden wird eine vollſtändigere Kenntniß der Erſcheinungen erfordert, und dieſe zu erlangen muß daher zuerſt unſer Beſtreben ſeyn. Und ſo wie wir in der Erzählung der täglichen Erſcheinungen des Himmels von einer Umdrehung der Himmelskugel um ihre Axe reden, unbekümmert darum, ob dieſer Schein einer ſich drehenden Sphäre in der That das ſey, was unſer Auge darin zu erkennen glaubt, ebenſo wollen wir hier unbedenklich von Lichttheilchen reden, welche die Erleuchtung der Körper, die ſie treffen, welche in unſerm Auge die Empfindung des Sehens bewirken, ohne für jetzt die Bedenklichkeiten hervorzuheben, zu welchen die Veranlaſſung uns jetzt noch fern liegt.

Die Frage, welche Körper es ſind, die ſich uns als leuchtend zeigen, unter welchen Umſtänden ſie leuchten, und was ſich daraus über das Weſen des Leuchtens, des Lichterzeugens, ſchließen laſſe, könnte hier vielleicht den erſten Platz einnehmen; aber da die Umſtände des Leuchtens ſo mannigfaltig ſind und die Erklärung der Entſtehung des Leuchtens ſich an die Theorieen von der Natur des Lichtes anknüpft, ſo verſchiebe ich die Mittheilung dieſer Beobachtungen über Leuchten, Brennen und Phosphorescenz, um Sie zuerſt mit den optiſchen Erſcheinungen, mit dem Wege der Lichtſtrahlen bekannt zu machen. Und um hier ſogleich einige Kunſtausdrücke zu erklären, mag hier die Bemerkung voranſtehen, daß man **Optik** im Allgemeinen die ganze Lehre von dem Wege, den die Lichtſtrahlen durchlaufen, nennt, daß man aber im engern Sinne nur diejenigen Erſcheinungen zur **Optik** rechnet, wo dieſer Weg grade iſt, und hingegen zur **Catoptrik** die Erſcheinungen der Spiegelung, der Reflexion des Lichtes, zur **Dioptrik** die Erſcheinungen, die durch Brechung des Lichtes entſtehen, rechnet.

Gradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Schattengrenze.

Das Licht geht in grader Linie von dem leuchtenden Körper aus zu andern Punkten hin. Dieſer Erfahrungsſatz iſt ſo bekannt, daß wir ohne weitere Ueberlegung geneigt ſind, den leuchtenden Körper in der Richtung zu ſuchen, wo wir ihn ſehen, und daß der mit der Wirkung des Spiegels unbekannte Wilde den Gegenſtand, den der Spiegel ihm zeigt, hinter dem Spiegel ſucht. Ohne an dieſen Satz von der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu denken, machen wir unzählige Anwendungen von demſelben; denn indem wir beim Feldmeſſen die Linie an unſerm Lineale ziehen, die uns, bei dem Viſiren nach einem Gegenſtande, als übereinſtimmend mit der Richtung nach dem Gegenſtande zu angegeben wurde, ſetzen wir voraus, daß der Lichtſtrahl auch wirklich in grader Linie zu uns kam; indem wir beim Nivelliren oder Waſſerwägen den Punkt, auf welchen unſer horizontal geſtelltes Fernrohr hinweiſt, als

gleich hoch mit dem Fernrohre liegend bezeichnen, machen wir eben die Vorausſetzung; und hier kann es uns, wie ſich ſpäterhin zeigen wird, ganz wohl begegnen, daß wir den Satz von der gradlinigen Fortpflanzung der Lichtſtrahlen weiter, als es geſtattet iſt, anwenden, weil bei großen Entfernungen eine Krümmung des Lichtſtrahles eintritt.

Da es eine große Menge von Körpern giebt, welche das Licht nicht durchlaſſen, ſo können nur diejenigen Lichtſtrahlen, die von einem leuchtenden Körper ausgehend neben dem dunkeln, undurchſichtigen Körper vorbeigehen, weiterhin noch die Wirkung des Lichtes ausüben, Erleuchtung hervorbringen; diejenigen Punkte, zu welchen hin eine von dem leuchtenden Körper ausgehende grade Linie durch den undurchſichtigen Körper geht, erhalten von jenem kein Licht, ſie liegen im Schatten des undurchſichtigen Körpers. Die Geſtalt des Schattens oder ſeine Begrenzung wird daher beſtimmt, wenn wir von den Grenzen des leuchtenden Körpers an den Umfang des undurchſichtigen grade Linien ziehen und dieſe weiter hinaus verlängern. Iſt der leuchtende Körper ſo klein, daß wir ihn einen leuchtenden Punkt nennen können, ſo geben alle von dieſem Punkte ausgehenden und zugleich den dunkeln Körper berührenden graden Linien die Grenze des Schattens an; für einen größeren leuchtenden Körper dagegen muß man ſich eine Ebne an den leuchtenden und den dunkeln Körper berührend gelegt und an beiden ſo, daß ſie alle Lichtſtrahlen ausſchließt, immer beide berührend, fortgeführt denken, wenn man die Schattengrenze erhalten will. In dieſem Falle, wenn der leuchtende Körper nicht ganz klein iſt, entſteht theils ein vollkommen dunkler, durch gar kein Licht jenes leuchtenden Körpers erhellter Schatten, theils ein Halbſchatten. Iſt nämlich AB ein leuchtender Körper (VI. Fig. 19), CD ein undurchſichtiger, ſo gelangt in den Raum CDE gar kein Licht; in dem Punkte F erhält man zwar von dem Theile BG des Körpers Licht, aber da noch ein Theil AG verdeckt iſt, ſo kann die Erleuchtung in F noch nicht ſo vollkommen ſeyn, als ſie ohne das Zwiſchentreten des dunkeln Körpers wäre, F liegt alſo im Halbſchatten; dagegen empfangen Punkte, die von H gegen I zu liegen, Licht von allen Punkten des leuchtenden Körpers, ſie liegen im vollen Lichte und die Linie DH begrenzt alſo den Halbſchatten, ſo wie DE den vollen Schatten begrenzt. Ein Beiſpiel hiezu geben die Sonnenfinſterniſſe. Wegen der Kleinheit des Mondes CD (VI. Fig. 19) werden nur wenige Punkte auf der Erdoberfläche in E alles Sonnenlichtes beraubt, ſo daß ſie ſich in einer totalen Verfinſterung befinden; ja, wenn die Erde, deren Entfernung vom Monde nicht immer gleich iſt, etwas weiter vom Monde entfernt, in K iſt, ſo liegt kein Punkt der Erde im vollen Schatten, ſondern ſelbſt da, wo des Schattens Mitte hinfällt, ſieht man rund um den Mond noch Theile der Sonne, ſo daß die Sonnenfinſterniß ringförmig iſt; aber eine theilweiſe Sonnenfinſterniß ſieht man von K bis H, und dabei iſt die Schwächung des Sonnenlichtes deſto ſtärker, der verdeckte Theil der Sonne deſto größer, je näher ſich der Beobachter bei der Mitte K des Schattens befindet. Bei den Mondfinſterniſſen zeigt ſich uns der Halbſchatten

dadurch, daß der Rand des Erdſchattens bei weitem nicht ſcharf iſt, ſondern ein verwaſchener Rand ſich von dem dunkelſten Theile des Schattens bis zu den noch völlig erleuchteten Gegenden des Mondes hin erſtreckt. Auch bei Gegenſtänden auf der Erde erkennen wir den ſich allmälig verlierenden Halbſchatten, z. B. wenn wir einen kleinen Körper der Lichtflamme nahe halten.

Grundſätze der Perſpective.

Die Perſpective, diejenige Wiſſenſchaft, welche uns die einzelnen Theile der Gegenſtände, ſo wie ſie uns erſcheinen, zeichnen lehrt, beruht auf dieſem graden Fortgange der Lichtſtrahlen. Um nämlich den Umriß eines Gegenſtandes ſo darzuſtellen, wie er dem Auge erſcheint, denken wir uns die Zeichnungstafel vor dem Gegenſtande aufgeſtellt, und von allen im Umfange des abzuzeichnenden Gegenſtandes liegenden Punkten grade Linien nach dem Auge gezogen; dieſe Linien ſchneiden die Zeichnungstafel und begrenzen auf ihr den Raum, den das Bild jenes Gegenſtandes einnehmen muß. Die Hauptregeln der Perſpective laſſen ſich hieraus herleiten. Es ſey z. B. (VI. Fig. 21) ABCD eine in der horizontalen Ebne LM gezeichnete Figur, die nun auf der Zeichnungstafel LN perſpectiviſch aufgetragen werden ſoll, ſo bezeichnen die nach dem Auge G gezogenen graden Linien AG, BG, CG, DG, die in E, F, I, H die Tafel ſchneiden, die Eckpunkte der aufzutragenden Figur. Sind hier AD und BC Linien, die mit der Ebne der Tafel LN parallel gehen, ſo bleiben ſie auch in der Zeichnung parallel, ſind dagegen AB, DC Linien, die auf der Ebne der Tafel LN ſenkrecht ſtehen, ſo ſcheinen dieſe ſich in ihren entfernteren Theilen einander zu nähern. Wenn man von dem Auge G eine Linie GK ſenkrecht auf die Tafel zieht, ſo iſt K der Augenpunkt, ein vorzüglich zu beachtender Punkt, gegen welchen zu alle auf die Ebne der Tafel ſenkrechten Linien, wie AB, DC, im Bilde auf der Tafel zuſammenlaufen. Daß dieſes ſo ſey, läßt ſich durch folgende Betrachtung überſehen. Je weiter man DC, AB über C und B hinaus verlängert, deſto höher hinauf erſtrecken ſich die dieſe Linien auf der Tafel vorſtellenden Abbildungen, aber deſto näher rücken ſie auch an einander, weil der immer gleiche Abſtand AD, BC in größerer Entfernung kleiner erſcheint; wären alſo AB, DC ſehr weit verlängert, ſo träfen ihre Abbildungen faſt völlig in dem Punkte K zuſammen. Auf ähnlichen Gründen beruhen alle perſpectiviſche Regeln, ſo daß dieſe ganze Wiſſenſchaft eine rein geometriſche iſt. [1]

Um eine Zeichnung genau richtig zu ſehen, muß man das Auge in den Punkt bringen, wo der Zeichner die Stellung des Auges annahm. Liegt dieſer Punkt ziemlich grade vor der Zeichnung und nicht allzu nahe, ſo erſcheint das Bild noch nicht bedeutend unrichtig, wenn man auch das Auge nicht ganz

[1] Handbuch der Perſpective von J. A. Eytelwein. Berlin 1810. Die freie Perſpective, erläutert durch practiſche Aufgaben und Beiſpiele hauptſächlich für Architecten und Maler, von J. E. Hummel. Berlin 1824.

ſtreng in dieſen Punkt bringt; aber in manchen Fällen würde das Bild aus einem andern Standpunkte ganz verzerrt, die einzelnen Theile deſſelben in ſehr unrichtigen Verhältniſſen erſcheinen. Der Maler, welcher ein Deckengemälde an einem Gewölbe zeichnet, nimmt an, daß der, welcher das Gemälde betrachtet, ſich unten in O (VI. Fig. 22) befinde; er wird daher den untern Theil einer Figur BC viel ausgedehnter als den oberen AB zeichnen, wenn beide dem in O befindlichen Auge gleich erſcheinen ſollen, denn das Auge nimmt die gezeichneten Gegenſtände ſo wahr, als ob ſie in a, b, c lägen. Und ſo wie hier ein Mißverhältniß der Theile in der wirklichen Zeichnung nicht zu vermeiden iſt, ſo iſt es in geringerem Maaße auch ſonſt oft der Fall, zumal bei größeren Gemälden oder bei ſolchen Zeichnungen, wo die Ungleichheit der Theile, die man als gleich anſehen ſoll, leicht ins Auge fällt. Man hat Bilder, die abſichtlich für eine ungewöhnliche Stellung des Auges gezeichnet ſind und die daher unerträglich verzerrt erſcheinen, wenn man das Auge in den gewöhnlichen Standpunkt bringt; ſoll zum Beiſpiel (VI. Fig. 23) das Auge in O die Figur abcd in den richtigen Verhältniſſen ſehen, ſo muß ihr oberer Theil cd unnatürlich lang ſeyn, und ſo in allen ähnlichen Fällen.

Daß wir die einzelnen Theile der in einem Gemälde dargeſtellten Gegenſtände nach Regeln der Perſpective beurtheilen, iſt bekannt. Wir verlangen, daß der gegen uns ausgeſtreckte Arm im Gemälde gehörig verkürzt erſcheine, daß die Lage aller einzelnen Theile uns ſchon durch den richtigen Umriß kenntlich werde, und ſo weiter. Hiebey hat nun freilich der Maler noch weit mehr zu beachten, als die bloße Perſpective, indem theils Schatten und Licht, theils ſelbſt gewiſſe falſche Urtheile, die wir alle machen, berückſichtigt werden müſſen, ſelbſt wo es nur auf eine Darſtellung ankömmt, die einzig von den Regeln der Perſpective abzuhängen ſcheint.

Sehewinkel. Optiſche Täuſchung.

Von dieſen falſchen Beurtheilungen muß ich doch einige Beiſpiele anführen. Wenn wir nach geometriſchen oder perſpectiviſchen Regeln urtheilen, ſo iſt es unfehlbar gewiß, daß ein nicht zu großer, 20 Fuß entfernter Gegenſtand uns nur halb ſo groß im Durchmeſſer erſcheint, als wenn er uns auf 10 Fuß nahe rückt; wir können uns hievon leicht überzeugen, wenn wir an einem vor uns ſtehenden Maaßſtabe vergleichen, wie vielen Theilen deſſelben der ſcheinbare Durchmeſſer eines beſtimmten Gegenſtandes in beiden Stellungen entſpricht; aber unſer Urtheil über die ſcheinbare Größe iſt hiervon ſehr verſchieden, und man überzeugt ſich nur mit Mühe, daß der Kopf eines in 20 Fuß Entfernung ins Zimmer tretenden Menſchen uns nur ein Viertel ſo groß im Durchmeſſer erſcheint, als wenn er ſich uns bis auf 5 Fuß genähert hat. Wegen dieſes falſchen Urtheiles kommen uns die Gegenſtände in Beziehung auf ihre Größe bedeutend anders vor, wenn wir ſie in einem langen, ſchmalen Raume hinter einander, ihre Entfernungen gleichſam abgemeſſen, vor uns ſehen, als wenn ſie im Freien in eben der Anordnung aufgeſtellt ſind. Wenn wir durch mehrere

geöffnete Thüren, die grade hinter einander liegen, ſehend unſere Aufmerkſamkeit auf die entfernteſte derſelben richten, ſo werden wir es weit mehr gewahr, wie klein ſie uns erſcheint, als wenn wir ſie im Freien in eben der Entfernung angeſehen hätten. Die Meinung, daß der Mond uns beim Aufgange größer erſcheine, iſt nicht allein allgemein verbreitet, ſondern beruht auch auf einer ſo mächtigen Täuſchung, daß man, ſelbſt bei der Ueberzeugung, daß es nur Täuſchung ſey, nicht Herr über ſie werden kann. Und doch iſt dieſes falſche Urtheil nur von eben der Art, wie in den vorhin angeführten Fällen, und jede Meſſung überzeugt uns, daß der Mond nicht größer erſcheint.[1]

Obgleich alſo der Sehewinkel, die ſcheinbare Größe eines Gegenſtandes (das iſt der Winkel, den die von den Grenzen des Gegenſtandes nach dem Auge gezogenen Linien mit einander machen), auf eine ſo ſtrenge und ſichere Weiſe aus der wahren Größe und aus der Lage und Entfernung beſtimmt iſt, ſo befinden wir uns doch in Rückſicht auf die Beurtheilung der ſcheinbaren Größe in einer durch mancherlei Umſtände veranlaßten Unſicherheit. Die Gewöhnung, Gegenſtände, welche uns genau bekannt ſind, in ungleichen Entfernungen zu ſehen und dabei nicht auf ihr ungleiches Erſcheinen zu achten, iſt der Grund der eben erwähnten unrichtigen Urtheile; aber auch andere Umſtände können unſer Auge täuſchen. Es iſt eine ziemlich bekannte Behauptung, daß man zuweilen ſehr entfernte Gegenſtände viel näher gerückt zu ſehen glaube, weil man ſie mit ungewohnter Deutlichkeit ſieht und dadurch oft zu der Meinung, daß man ſie größer ſehe, verleitet wird, die gleichwohl ungegründet iſt. Nach meinen eigenen Erfahrungen über dieſe Erſcheinungen entſtehen ſie am öfterſten aus der Lebhaftigkeit der Erleuchtung, die uns in Stand ſetzt, jeden kleineren Theil genau wahrzunehmen, und wir beurtheilen dann die ſcheinbare Größe nach der Leichtigkeit des Erkennens dieſer kleinen Theile. Es iſt bekannt, daß wir einen ſchwarzen Kreis auf rein weißem Grunde in viel größerer Entfernung erkennen, als wenn er auf grauem oder dunkelm Grunde aufgetragen wäre, und in Beziehung auf dieſe Ueberzeugung werden wir nicht ſo leicht den auf weißem Grunde aufgetragenen Kreis für größer halten, weil wir ſchon die Rückſicht hierauf in unſer Urtheil mit hinein bringen; aber wenn wir in einem weit entfernten weißen Gebäude jetzt die Fenſter und andere durch Farbe oder Schatten unterſchiedene Theile deutlich ſehen, ſtatt daß ſie uns zu anderer Zeit unkenntlich ſind, ſo ſind wir geneigt, die jetzt kenntlichen Theile als größer erſcheinend anzuſehen, obgleich ſie nur wegen einer hellern Beleuchtung ſich kenntlicher gegen das helle Weiß abſtechend zeigen. Dieſe überraſchende Deutlichkeit pflegt beſonders dann ſtatt zu finden, wenn bei ſehr durchſichtiger, von allem Nebel freier Luft die Sonne niedrig ſtehend die Wände von Gebäuden in ſenkrechter Richtung beſcheint; die alsdann ſtatt findende ſtarke Erleuchtung, die wir durch eine ungetrübte Luft wahrnehmen, geſtattet uns, Fenſter oder andere dunklere Theile des Gebäudes, obgleich ſie bei ſchwächerer Erleuchtung nicht wahrgenommen werden können, jetzt noch zu ſehen, nicht deshalb, weil

[1] Vgl. Brandes Vorleſ. üb. d. Aſtronomie. I. 80.

ſie jetzt größer ſind, ſondern weil ſo kleine Theile noch kenntlich werden, wenn die Erleuchtung lebhaft genug iſt. Um die Umſtände, wo dieſe überraſchende Deutlichkeit beobachtet wird, vollſtändig anzugeben, will ich noch beifügen, daß ein Sonnenaufgang, wobei der Beobachter ſich im Schatten dunkler Wolken befindet, während ein weſtwärts liegender Gegenſtand lebhaft von den Sonnenſtrahlen erleuchtet wird, vorzüglich geeignet iſt, die Erſcheinung zu begünſtigen. Ich habe hier Manches erwähnen müſſen, was hier noch nicht genau erklärt werden kann, und muß daher abbrechen, obgleich mehr als eine Erläuterung über die Ungleichheit der Erleuchtung bei verſchiedener Richtung des auffallenden Lichtes u. ſ. w. hier noch beizufügen wäre.

Aber die Betrachtungen über ſcheinbare Größe kann ich dennoch nicht ganz abbrechen, da die Frage, wie groß, unter welchem Sehewinkel ein Gegenſtand uns erſcheinen muß, um noch kenntlich zu ſeyn, hier am beſten beantwortet wird. Daß dieſe Frage keine allgemein gültige Beantwortung geſtattet, iſt bekannt, und erhellt auch aus dem eben vorhin Angegebenen. Wir nennen dasjenige Auge ein ſcharfes, welches Gegenſtände, die unter einem ſehr kleinen Winkel erſcheinen, noch erkennt, und für ein ſolches recht ſcharfes Auge und unter übrigens günſtigen Umſtänden der Beleuchtung beträgt der kleinſte Sehewinkel für einen weißen Gegenſtand auf ſchwarzem Grunde etwa 40 Secunden,[1] das heißt, eine weiße Stange, auf dunkelm Grunde erſcheinend, iſt in 500 Fuß Entfernung noch ſichtbar, wenn ſie 1 Zoll dick iſt; — gegen den hellen Himmel ſieht man eine dunkle Stange noch bei geringerem Durchmeſſer, und leuchtende Körper können unter einem Sehewinkel von 1 Secunde (das heißt, wenn ihre Entfernung 200000 mal mehr beträgt, als die Größe ihres Durchmeſſers) noch ſehr wohl kenntlich ſeyn. In dunkler Nacht ſind Gegenſtände von hinreichend hellem Lichte noch bei viel geringerem Durchmeſſer kenntlich; denn wir haben Grund, den größern Fixſternen kaum einen Durchmeſſer von $1/_{150}$ Sec. beizulegen, und doch machen dieſe noch einen ſo lebhaften Eindruck auf das Auge.

Bilder der Gegenſtände durch grade fortgehende Strahlen.

Die grade fortgehenden Lichtſtrahlen geben uns zuweilen Bilder der Gegenſtände, von welchen ſie ausgehen. Wenn in ein dunkles Zimmer das Licht nur durch eine ſehr kleine Oeffnung einfällt, ſo zeigen ſich die außerhalb ſtehenden Gegenſtände, wenn ſie nur lichtvoll genug ſind, auf einer in dem dunkeln Raume der Oeffnung zugekehrten weißen Tafel. Am beſten ſieht man dieß, wenn die Sonne durch jene kleine Oeffnung auf die Tafel ſcheint. Der von der Oeffnung aus ſich immer mehr erweiternde Kegel, den wir als erleuchtet in allen ſeinen Theilen wahrnehmen, wenn das Zimmer mit Rauch oder Staub erfüllt iſt, bringt auf die Tafel eine Erleuchtung, die wir ein Sonnenbild nennen können, einen deſto größern erleuchteten Raum, je weiter wir uns mit

[1] v. Humboldt hält es mit Recht für ein Zeichen ungewöhnlich reiner Luft, wenn man einen weißen Gegenſtand noch bei 13 Sec. Sehewinkel erkennt, wie es auf Bergen zuweilen der Fall iſt.

der weißen Tafel von der Oeffnung entfernen. Dieſes Sonnenbild iſt rund, ſelbſt wenn die Oeffnung, vorausgeſetzt, daß ſie klein genug bleibt, nicht rund iſt, weil die von den verſchiedenen Punkten des Sonnenrandes einfallenden Strahlen jenen Kegel beſtimmen. Dieſem Umſtande iſt es zuzuſchreiben, daß da, wo die Sonne durch das Laub von Bäumen ſcheint, ſich allemal runde erhellte Flecke zeigen, und nur da die Form der Oeffnungen zwiſchen den Blättern kenntlich wird, wo dieſe Oeffnungen ſchon eine erhebliche Größe erlangen. Wir ſind gewohnt, dieſe erhellten Flecke immer rund zu ſehen; aber bei einer Sonnenfinſterniß, wenn der noch übrige Theil der Sonne mondförmig erſcheint, zeigen auch jene Sonnenbilder ſich mondförmig.

Im dunkeln Zimmer, wo die Entfernung alles fremden Lichtes die Erſcheinungen kenntlicher macht, verbindet ſich mit dieſem Sonnenbilde noch das Bild erhellter Wolken und anderer hinreichend erleuchteter Gegenſtände, und wir ſehen im Bilde auf der Tafel die Wolken von Oſten nach Weſten ziehen, wenn ſie wirklich ihren Zug von Weſten nach Oſten nehmen. Es iſt nämlich offenbar, daß eine Wolke, etwas weſtwärts von der ſenkrecht gegen die Tafel durch die Oeffnung gezogenen Linie ſtehend, ihr Licht von der Weſtſeite her nach der Oeffnung ſendet, und daß dieſes alſo innerhalb des dunkeln Zimmers oſtwärts fortgeht und an der Oſtſeite jener Senkrechten auf der Tafel aufgefangen wird. Geht die Wolke nach der Oſtſeite hinüber, ſo rückt die von der Wolke ausgehende Erleuchtung auf der Tafel gegen Weſten fort und das Bild der Wolke erſcheint umgekehrt. Bei der Beobachtung glänzender Wolken überzeugt man ſich daher leicht, daß man auf der Tafel ein Bild, und zwar ein umgekehrtes Bild der Gegenſtände wahrnimmt, welches jedoch nur dann recht gut ſich darſtellt, wenn einige Gegenſtände ſich durch ſtarkes Licht vor andern auszeichnen, wie dieſes vorzüglich bei glänzenden Wolken auf dem dunkeln Blau des Himmels der Fall iſt. Man kann auf dieſe Weiſe das dunkle Zimmer benutzen, um Bilder der Gegenſtände darzuſtellen und allenfalls abzuzeichnen, doch dient dazu beſſer eine ſpäter zu beſchreibende Einrichtung.

Geſchwindigkeit des Lichtes.

Die Frage, in welcher Zeit das Licht bei ſeinem gradlinigen Fortgange von einem Punkte zum andern gelangt, ſcheint für den oberflächlichen Beobachter ſehr ſchwer zu beantworten, indem wir uns bald überzeugen, daß die Zeiträume zwiſchen dem Hervorgehen eines Leuchtens und dem Sichtbarwerden deſſelben an einem entfernten Punkte zu kurz ſind, um beobachtet zu werden, weshalb denn alle Mittel, deren wir uns bei der Abmeſſung der Geſchwindigkeit des Schalles bedienen, für das Licht unzulänglich gefunden werden. Aber was auf der Erde, wegen der Beſchränktheit der Entfernungen, unmöglich iſt, das läßt ſich bei den großen Entfernungen der Planeten von der Erde ausführen, wofern es nur da Signale giebt, die, zu beſtimmten Zeitpunkten gegeben und zu einer etwas ſpätern Zeit von uns geſehen, Gelegenheit zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit des Lichtes darbieten. Solche Signale ſind die

Verfinſterungen der Jupitersmonde. Die aſtronomiſche Berechnung läßt ſich für ſie ſo ſtreng führen, daß wir den wirklichen Augenblick, wo ſie eintreten müſſen, und die Zwiſchenzeiten von einer Verfinſterung bis zur andern als vollkommen genau bekannt anſehen können; aber dieſe Zwiſchenzeiten geben uns nun eben Gelegenheit, die allmälige Fortpflanzung des Lichtes wahrzunehmen. Der erſte Jupitersmond, welcher dem Hauptplaneten am nächſten iſt, tritt nach immer gleichen Zwiſchenzeiten (die nur um 4 bis 5 Sec. verſchieden ſind) in den Schatten des Jupiters I (VI. Fig. 20.), und wenn man dieſe Verfinſterungen beobachtet, während die Erde in E iſt, ſo ſieht man ſie immer nach den berechneten Zwiſchenzeiten eintreten. Hier bei E nämlich bleibt die Erde mehrere Tage lang dem langſam fortrückenden Jupiter I ziemlich gleich nahe, und das Licht hat daher bei allen Verfinſterungen gleich lange Zeit nöthig, um zu uns zu gelangen, ſo daß wir, obgleich die Verfinſterung ſpäter von uns geſehen wird, als ſie eintritt, doch dieſen Zeitverluſt in der Zwiſchenzeit der Verfinſterungen nicht wahrnehmen. Iſt hingegen die Erde nach G gekommen, wo ſie ſich von F nach G vom Jupiter täglich mehr entfernt, ſo verſpätet ſich der beobachtete Anfang der Verfinſterung bei jeder folgenden Verfinſterung immer mehr. Zwiſchen zwei nächſten Verfinſterungen des erſten Mondes vergehen 42 Stunden und 28 bis 29 Minuten, und in dieſer Zeit vergrößert ſich die Entfernung der Erde vom Jupiter um 590000 Meilen; gebrauchte alſo der letzte, vor der Verfinſterung von dem Monde ausgehende Lichtſtrahl eine gewiſſe Zeit, um nach F zu gelangen, ſo braucht er bei der folgenden Verfinſterung etwas mehr Zeit, um nach G zu gelangen, und die Zwiſchenzeit des Anfanges der Finſterniſſe iſt daher größer. Dieſe Vergrößerung der Zwiſchenzeit beträgt ungefähr 14 Secunden, und ſo viel Zeit verwendet alſo das Licht, um 590000 Meilen zu durchlaufen. Die entgegengeſetzte Beobachtung findet ſtatt, wenn die Erde ſich in der Gegend HK ihrer Bahn dem unterdeß langſam fortrückenden Jupiter nähert; hier ſehen wir jede folgende Verfinſterung etwas eher eintreten, und der Zeitunterſchied iſt ebenſo der unterdeß erfolgten Annäherung der Erde zum Jupiter angemeſſen, wie im andern Falle der größer werdenden Entfernung. Indem wir ſo zu der Kenntniß gelangt ſind, daß das Licht ungefähr 42000 Meilen in einer Secunde durchläuft, ergiebt nun jede Beobachtung eine Prüfung und eine Beſtätigung dieſer Angabe. Wir wiſſen nämlich jetzt, daß wir in E den Eintritt in den Schatten oder den Austritt aus dem Schatten auch nicht dann ſehen, wenn er ſtatt findet, ſondern ungefähr 35 Minuten ſpäter; wir berechnen dieſe Verzögerung für die in F, G, L beobachteten Austritte aus dem Schatten und für die in M, H, K beobachteten Eintritte in den Schatten nach dem Maaße der jedesmaligen Entfernung, und die Beobachtung zeigt, daß dieſe berechnete Zeit, wobei auf die Fortpflanzung des Lichtes Rückſicht genommen iſt, wirklich die iſt, die der Wahrheit gemäß iſt.

Der Himmel bietet uns noch eine Erſcheinung dar, welche uns über die zwar ſehr ſchnelle, aber doch allmälige Fortpflanzung des Lichtes belehrt,

nämlich die Aberration des Lichtes der Fixſterne; aber da die Erklärung, woher dieſe entſteht, mehr in die Aſtronomie gehört, ſo will ich mich hier begnügen, bloß zu bemerken, daß auch dieſe Erſcheinung auf eine ebenſo große Geſchwindigkeit des Lichtes führt, und daß wir 41700 oder in runder Zahl 42000 Meilen als den Weg des Lichtes in 1 Sec. angeben können.[1] Das Licht hat daher $8\frac{1}{4}$ Min. nöthig, um von der Sonne zu uns zu kommen, $2\frac{2}{3}$ Stunden, um von dem entfernteſten Planeten des Sonnenſyſtems zu uns zu gelangen, und mehrere Jahre, um den Weg von den nächſten Fixſternen bis zu uns zu durchlaufen. Dieſe Zahlen geben zugleich den deutlichſten Begriff von der unermeßlichen Größe des Weltgebäudes, da das Licht ſo ſchnell iſt, daß die Geſchwindigkeit des Schalles nur ungefähr dem 900000ſten Theile derſelben, die Geſchwindigkeit der Erde in ihrer Bahn dem 10200ſten Theile der Geſchwindigkeit des Lichtes gleichkömmt.

Abhängigkeit der Erleuchtung von der Entfernung und dem Einfallswinkel. — Photometrie.

Der gradlinige Fortgang des Lichtes führt uns zur Kenntniß der in größeren Entfernungen geringeren Wirkungen des Lichtes. Dieſe Wirkung des Lichtes nennen wir Erleuchtung, und wir werden nun zu der Frage veranlaßt, ob es denn Mittel gebe, den Grad der Erleuchtung zu beſtimmen. Wenn wir die Erleuchtung, welche durch einen leuchtenden Punkt hervorgebracht wird, theoretiſch zu vergleichen, ihre in verſchiedenen Fällen ſtatt findende Größe zu beſtimmen ſuchen wollen, ſo werden wir ſie gewiß als deſto größer annehmen, je mehr Lichtſtrahlen wir auf denſelben Raum auffallend finden; nun iſt aber offenbar, daß (VI. Fig. 24.) die von dem Licht ausſendenden Punkte S erleuchtete Fläche A B C D einen viermal ſo großen Raum, als ſie ſelbſt beträgt, nämlich E F G H, beſchattet, wenn man den Schatten in der doppelt ſo großen Entfernung $SE = 2.SA$ auffängt, daß in der dreifachen Entfernung S I die beſchattete Fläche neunmal ſo groß iſt u. ſ. w., oder mit andern Worten, dieſelbe Zahl von Lichtſtrahlen, welche A B C D erleuchtet, wird in der doppelten Entfernung eine vierfach ſo große Fläche, in der dreifachen Entfernung eine neunmal ſo große Fläche erleuchten, wenn man die Lichtſtrahlen ungehindert bis nach E F G H oder I K L M gelangen läßt; alſo iſt die Erleuchtung jedes Theiles, jedes einzelnen Punktes der Fläche E F G H nur $\frac{1}{4}$ ſo groß in der doppelten Entfernung, nur $\frac{1}{9}$ ſo groß in der dreifachen Entfernung, nur $\frac{1}{16}$ ſo groß in der vierfachen Entfernung u. ſ. w. Die Erleuchtung nimmt mithin ab, wenn die Entfernung zunimmt, und zwar nicht in dem einfachen Verhältniſſe der Entfernungen, ſondern im Verhältniſſe der Quadrate der Entfernungen.

Dieſe theoretiſch gefundene Beſtimmung läßt ſich mit der Erfahrung

[1] Die Erklärung der Aberration des Lichtes ſetzt voraus, daß man von der großen Entfernung der Fixſterne und der eben deswegen ganz unmerklichen Parallaxe überzeugt ſey, und ich kann ſie hier um ſo eher übergehen, da ſie in den Vorleſungen über die Aſtronomie, 2. Th. S. 210 vorkömmt.

vergleichen. Wenn wir zwei gleich hell brennende Lichter dicht neben einander aufſtellen, ſo iſt es gewiß, daß die Erleuchtung einer in beſtimmter Entfernung und Lage aufgeſtellten Ebene doppelt ſo groß iſt durch dieſe zwei Lichter, als durch eines, und wir beſitzen alſo ein Mittel, die doppelte, dreifache, vierfache Erleuchtung nach Willkür zu bewirken; können wir nun dieſe ſo hervorgebrachte Erleuchtung mit einer andern vergleichen, ſo bietet ſich uns ein Mittel dar, die Wahrheit der theoretiſchen Beſtimmung zu prüfen. Unſer Auge beſitzt nicht die Fähigkeit, bei der Betrachtung zweier erleuchteter Flächen zu entſcheiden, ob die eine doppelt oder dreifach ſo ſtark, als die andere, erleuchtet iſt, aber es beſitzt die Fähigkeit, Gleichheit oder Ungleichheit der Erleuchtung recht wohl zu erkennen. Um daher jene Beſtimmung zu prüfen, ſtellt man in AB (VI. Fig. 25) eine weiße Fläche auf, die ihre Erleuchtung von den zwei Lichtern C und von dem einen Lichte D in beinahe ſenkrechter Richtung empfängt; zwiſchen der Ebene AB und jenen Lichtern ſtellt man den undurchſichtigen Körper EF ſo auf, daß ſein Schatten vom Lichte D her in ab, ſein in Beziehung auf die Lichter C entſtandener Schatten in cd, nahe daneben fällt. Es iſt leicht zu überſehen, daß nach ab zwar die Erleuchtung durch die zwei Lichter C und nach cd zwar die Erleuchtung durch das eine Licht D gelangt, daß aber jeder dieſer Schatten ab, cd doch als minder erleuchtet kenntlich wird, weil ihm die Erleuchtung von D oder von C mangelt. Unſer Auge erkennt hier leicht, ob die dem einen Lichte D oder die den zwei Lichtern C zugehörende Erleuchtung die ſtärkere iſt, und wenn man D ſo lange näher rückt oder weiter entfernt, bis das Auge die Erleuchtung beider beſchatteter Räume als gleich erkennt, ſo hat man das beabſichtigte Experiment vollendet. Der wirkliche Verſuch zeigt, daß die Entfernung DH ſich zu CH wie 5 zu 7 verhalten muß, wenn die Erleuchtung durch ein Licht D ebenſo ſtark, als durch zwei Lichter C ſeyn ſoll, und da 5 mal 5=25, 7 mal 7=49, die letztere Zahl aber faſt genau die doppelte der erſten iſt, ſo giebt das Experiment eine Beſtätigung des oben gefundenen Satzes. Hätte man in C vier Lichter vereinigt, ſo müßte DH nur halb ſo groß ſeyn, als CH, weil ein Licht in der halben Entfernung viermal ſo ſtark erleuchtet, als ein Licht in der ganzen Entfernung.

Dieſe eine photometriſche Beſtimmung leitet uns zu mehreren. Schon eine ſich von ſelbſt darbietende Erfahrung lehrt uns, daß die Erleuchtung ſchwächer wird, wenn wir das Licht unter einem kleinen Winkel auf die erleuchtete Ebene fallen laſſen, und wir fragen daher hier auch nach dem Geſetze der Erleuchtung, ſofern ſie von dem Einfallswinkel der Lichtſtrahlen abhängt. Sehen wir auf die Menge der Lichtſtrahlen, ſo erhellt leicht, daß die Ebene AB (VI. Fig. 26.) nur von ebenſo vielen Lichtſtrahlen, als AC, getroffen wird, wenn aA, bB die von dem leuchtenden Punkte herkommenden Lichtſtrahlen ſind; iſt alſo die ſchiefe Fläche AB doppelt ſo groß, als AC, ſo iſt AB in jedem Punkte nur halb ſo ſtark erleuchtet, als es AC ſeyn würde, wenn AC eine die Strahlen auffangende Ebene wäre. Der Verſuch, den

man auf ähnliche Weiſe, wie den vorigen, durch Vergleichung zweier Schatten anſtellen kann, beſtätigt dieſe Behauptung; würde er ſo angeſtellt, daß ein Licht die Fläche in ſenkrechter Richtung erleuchtete, eines dagegen in ſehr ſchiefer Richtung, ſo würde das ſenkrecht erleuchtende Licht viel weiter als das andere hinausgerückt werden müſſen, damit die Erleuchtung als gleich erſchiene. Die vorhin angeführten Erfahrungen über den lebhaften Glanz eines in ſenkrechter Richtung von der Sonne beleuchteten Gegenſtandes erhalten hierdurch ihre vollkommene Erklärung.

Andre photometriſche Unterſuchungen.

Die hier ſo eben betrachteten Vergleichungen der Erleuchtung heißen photometriſche (lichtmeſſende) Unterſuchungen, weil ſie uns den Grad der Erleuchtung kennen lehren, oder das Licht abmeſſen, welches uns in der Erleuchtung kenntlich wird. Photometer (Lichtmeſſer) ſind die Werkzeuge, die hiezu dienen, und das einfachſte Photometer wäre alſo das, wo durch Vergleichung der beiden Schatten, das iſt, durch Vergleichung der von einer Lichtquelle und von der andern Lichtquelle erleuchteten Flächen, die Gleichheit der Erleuchtung beſtimmt und dann durch Abmeſſung der Entfernungen das berechnete Maaß der Erleuchtung angegeben wird. Wenn wir z. B. die Erleuchtung, ſo wie ſie durch ein Wachslicht von beſtimmter Art bewirkt wird, wenn dieſes aus 1 Fuß Entfernung eine Fläche ſenkrecht erleuchtet, als Maaß für andere Erleuchtungen zum Grunde legen, ſo läßt ſich mit Hülfe eines ſolchen Photometers die Erleuchtung für andere Fälle finden. Wollen wir wiſſen, wie vielmal die Erleuchtung durch eine hell brennende Lampe größer iſt, als die durch jenes Wachslicht, ſo ſtellen wir Lampe und Wachslicht ſo auf, daß ſie beinahe ſenkrecht die Stelle der weißen Tafel erleuchten, wohin der ſchmale Schatten fällt; wir entfernen nun die hell brennende Lampe, und wenn wir ſie bis zu 7 Fuß entfernen müſſen, damit die Erleuchtung ſo groß ſey, wie durch das 1 Fuß entfernte Wachslicht, ſo ſchreiben wir ihr mit Recht eine Intenſität des Lichtes, die 49 mal ſo groß iſt, als die des Wachslichtes, zu. Rumford und nach ihm viele andre Beobachter haben dieſe photometriſchen Abmeſſungen angewandt, um über den Werth verſchieden conſtruirter Lampen oder andrer Erleuchtungsmittel zu entſcheiden, indem ſie nicht allein die Erleuchtung, ſondern auch den Aufwand an Brennmaterial in Vergleichung zogen, woraus ſich dann ergab, welche Beleuchtung in Verhältniß der Koſten die vortheilhaftere ſey.

Ritchie hat folgende, der Hauptſache nach ähnliche Einrichtungen eines Photometers vorgeſchlagen. Man ſtellt eine kleine durchſcheinende weiße Tafel auf, die in der Mitte durch eine ſenkrecht gegen ſie befeſtigte ſchwarze Platte A B (VIII. Fig. 11) in zwei Hälften getheilt iſt. Bei D B, E B bringt man zwei gleiche und gleich geſtellte Spiegel an. Stellt man nun die beiden zu vergleichenden Lichter an beiden Seiten etwa in F, G auf und entfernt das helle ſo lange, bis beide Hälften der durchſcheinenden Fläche von oben

betrachtet gleich hell erſcheinen, ſo läßt ſich aus der Entfernung beider Lichtquellen auf das Verhältniß ihrer Intenſitäten ſchließen. Einfacher noch iſt es, die durchſcheinende Fläche lothrecht aufzuſtellen und beide Lichtquellen auf derſelben Seite anzubringen, jedoch ſo, daß durch eine Scheidewand in der Mitte der Fläche bewirkt wird, daß jede Hälfte nur von der einen Lichtquelle Licht empfängt. Die Beobachtung iſt dann im Uebrigen ganz dieſelbe; ſie muß aber im dunkeln Zimmer angeſtellt werden, auch müſſen die umgebenden Theile der Flächen geſchwärzt ſeyn, um nicht durch fremdes reflectirtes Licht zu ſtören.

Eine ähnliche photometriſche Unterſuchung lehrt uns den Grad der Durchſichtigkeit eines Körpers kennen. Wenn zwei ganz gleich brennende Lichter gleich weit von der erleuchteten Fläche abſtehen, ſo erſcheinen die halb erleuchteten Schatten gleich; bringt man aber eine Glasſcheibe zwiſchen das eine Licht und die erleuchtete Tafel, ſo muß man das ſo geſchwächte Licht näher rücken, um die Gleichheit der Erleuchtung herzuſtellen. Man kann hieraus die Reinheit des Glaſes beurtheilen, man kann ferner entſcheiden, wie viel von dem verlornen Lichte an der Oberfläche, wie viel beim Fortgange im Innern des Glaſes verloren geht, indem man bald eine einzige 5mal ſo dicke Glasplatte, bald 5 dünne Glasplatten anwendet; — die Erfahrungen an unſern Doppelfenſtern zeigen uns ſchon, daß zwei dünne Glasplatten weit mehr als eine dicke verdunkeln.

Aber auch zu theoretiſcher Beſtimmung bieten die obigen Hauptgeſetze eine Menge von Anwendungen dar. Eine einfache, hieher gehörige Frage iſt die, wie man ein höher oder tiefer zu ſtellendes Licht **B**, während es in der Verticallinie **CB** bleibt, ſtellen muß (**VI. Fig. 27.**), damit es in der Gegend **A** die horizontale Fläche **AC** am beſten erleuchte. Bei größerer Höhe nimmt die Erleuchtung in **A** wegen der größern Entfernung ab, aber wegen des vortheilhafteren Winkels nimmt ſie zu, und man findet, daß der Winkel $BAC = 35^0$ ſeyn muß, damit die Erleuchtung am vortheilhafteſten ſey; **BC** muß demnach $= 7$ ſeyn, wenn $AC = 10$ iſt.

In manchen Fällen haben wir nicht eine von einem einzigen Punkte ausgehende Erleuchtung; aber auch dann läßt ſich eine Berechnung, die ich hier nur oberflächlich angeben kann, anſtellen. Wenn eine horizontale Fläche durch die Fenſter eines Zimmers erleuchtet wird, und dieſe Erleuchtung bloß vom hellen Himmel ausgeht, deſſen Licht wir als in allen Punkten gleich anſehen, ſo müßte für jeden Theil des durch das Fenſter ſichtbaren Himmels die dem ſchiefen Einfallen der Strahlen und der Größe jedes Theiles angemeſſene Erleuchtung für eine beſtimmte Stelle berechnet werden, und die Summe dieſer Erleuchtungen gäbe das, was wir zu haben verlangen. Mit Hülfe ſolcher Berechnungen, die eine größere Schärfe geſtatten, als wir in ähnlichen Fällen zu fordern pflegen, könnte z. B. jeder im Voraus beurtheilen, ob eine veränderte Wohnung oder eine veränderte Stellung des Tiſches, auf dem er ſchreibt, ihm in Hinſicht der Tageshelligkeit mehr oder mindere

Beleuchtung gewähre. Alle Umſtände laſſen ſich dabei freilich nicht wohl berückſichtigen, indem die Wände der benachbarten Häuſer, der weiße oder farbige Anſtrich des Zimmers u. ſ. w. ſehr erheblich mit einwirken; indeß iſt es doch angenehm, zu überſehen, welche Beſtimmungen ſich uns hier darbieten. Zum Schluſſe dieſer Betrachtung will ich noch beifügen, daß eine horizontale Fläche durch den ganzen hellen Himmel, wenn deſſen Licht im Freien durch nichts aufgehalten wird, grade halb ſo ſtark erleuchtet wird, als es geſchehen würde, wenn alle von der Halbkugel des Himmels auffallenden Lichtſtrahlen ſenkrecht auffielen.

Auch auf aſtronomiſche Gegenſtände findet eine Anwendung dieſer photometriſchen Regeln ſtatt. Der Planet Jupiter iſt 5 mal ſo weit als die Erde von der Sonne entfernt, alſo wird dort eine den Sonnenſtrahlen ſenkrecht dargebotene Ebne nur $^1/_{25}$ ſo ſtark erleuchtet, als auf der Erde; auf der Venus hingegen, deren Entfernung von der Sonne nur $^3/_4$ der Entfernung der Erde von der Sonne iſt, muß die Erleuchtung beinahe doppelt ſo groß, als auf der Erde, ſeyn; und obgleich wir, bei unſrer Unkunde über Farbe und ſonſtige Beſchaffenheit der Planetenoberflächen, noch keine weitere Vergleichungen auf dieſe Beſtimmung gründen können, ſo erklärt ſich doch das glänzende Licht der Venus und des der Sonne noch näheren Mercur aus dieſer Betrachtung.

Wie die Erleuchtung von der Lage der leuchtenden Oberfläche abhängt.

Wir haben die Erleuchtung bisher nur in Beziehung auf die Entfernung und Lage der erleuchteten Fläche unterſucht; aber ſie hängt auch von der Lage der leuchtenden Oberfläche ab. Wenn wir uns ein leuchtendes Quadrat denken, und als ſolches kann uns eine weiße, von der Sonne ſenkrecht beſchienene Tafel dienen, ſo bemerken wir keinen Unterſchied in der Intenſität des Glanzes, wir mögen ſenkrecht auf die Tafel blicken oder uns mehr ſeitwärts ſtellen, das heißt, jeder einzelne Theil der Tafel kömmt uns bei der einen und bei der andern Stellung gleich blendend, unſer Auge in gleichem Grade afficirend, vor. Aber die ſcheinbare Größe des leuchtenden Quadrats nimmt ab, wenn wir auf die Seite treten, und da von jedem ſcheinbar gleich großen Theile, nach dem Urtheile unſers Auges, gleich viel Licht ausgeht, ſo muß die durch die ganze quadratiſche Fläche hervorgebrachte Erleuchtung abnehmen. In dieſem Beiſpiele überſehen Sie zugleich den Unterſchied deſſen, was man geſehene Helligkeit oder wahre Intenſität des Lichtes, und was man geſammten Glanz, auch wohl Lichtſtärke nennt. Die geſehene Helligkeit bleibt bei jener glänzenden Quadratfläche gleich für jede Stellung des Auges, aber der geſammte Glanz, der Eindruck, welchen alle Theile der Fläche vereint auf das Auge hervorbringen, und eben deswegen auch die Erleuchtung, die einem Körper durch dieſes auffallende Licht zu Theil wird, nimmt ab, ſo wie die ſcheinbare Größe abnimmt. In Beziehung hierauf

ſagen wir zum Beiſpiel, das funkelnde Licht des Sirius ſey glänzender, habe mehr geſehene Helligkeit, als das Licht des Mondes, deſſen geſammter Glanz gleichwohl mehr beträgt, als der des Sirius. Hätte jeder Punkt des Mondes denſelben blitzenden Glanz, wie der Sirius, ſo würde das Licht des Mondes vielleicht dem der Sonne nichts nachgeben.

Die Behauptung, daß der geſehene Glanz, die Intenſität des Lichtes, für jeden ſcheinbar gleich großen Flächentheil in der Entfernung nicht abnimmt, hat im erſten Augenblicke etwas Auffallendes, weil man ſo leicht geneigt iſt, diejenige Wirkung, die ſich uns in der ganzen Erleuchtung zeigt, mit der Intenſität in jedem ſcheinbar gleich großen Theile zu verwechſeln. Es iſt ganz gewiß, daß eine zehnmal ſo weit hinausgerückte Lichtflamme uns nur ein Zehntel ſo hoch und ein Zehntel ſo breit erſcheint, als in der nähern Stellung, und deshalb iſt die Erleuchtung nur ein Hundertſtel derjenigen, welche von eben der Lichtflamme in der nähern Stellung hervorgebracht wurde; aber die ſcheinbare Helligkeit jedes Theiles iſt gleich. Denn wenn bei der erſten Stellung der Lichtflamme eine Quadratlinie, ein Raum von 1 Linie lang und breit, uns in Hinſicht auf Länge und Breite unter einem gewiſſen Sehewinkel erſchien, ſo ging die dieſem Sehewinkel entſprechende, geſehene Helligkeit nur aus dem Lichte einer Quadratlinie hervor; iſt dagegen die Flamme zehnmal ſo weit hinausgerückt, ſo tragen 100 Quadratlinien der Flamme zu dem Lichte bei, welches uns in eben dem ſcheinbaren Raume, eben dem Sehewinkel entſprechend, erſcheint, und ſo kann es nicht anders ſeyn, als daß die Intenſität des Lichtes dieſelbe bleibt. Dem Saturnbewohner erſcheint daher, abgeſehen davon, daß vielleicht eine den Weltraum erfüllende feine Materie (ein ſogenannter Aether) das Licht ſchwächen mag, die Sonne ebenſo blendend als uns, obgleich ihre Scheibe ihm nur ein Hundertſtel mal ſo groß erſcheint, das heißt, wenn wir durch eine Oeffnung nur einen Theil der Sonne, im Durchmeſſer ein Zehntel ſo groß als die ganze Sonne, ſehen, ſo ſtellt dieſer Theil der Sonne uns ein genaues Bild deſſen dar, was wir auf dem Saturn beim freien Anblicke der Sonne ſehen würden.

Nach dieſen Ueberlegungen beurtheilen wir den ganzen Eindruck, den das Licht der verſchiedenen Planeten auf unſer Auge machen müßte, wenn ſie alle, als ihrer Natur nach gleich, z. B. alle gleich weiß, uns ihre Erleuchtung gleich gut zeigten. Saturn iſt ungefähr 10 mal ſo weit als unſer Mond von der Sonne entfernt, alſo jeder Theil ſeiner Oberfläche $^1/_{100}$ ſo ſtark als die des Mondes erleuchtet; aber da er uns nur 18 Secunden im Durchmeſſer zu haben ſcheint, alſo ſeine Scheibe uns nur ungefähr $^1/_{10000}$ ſo groß als die Mondſcheibe erſcheint, ſo giebt er uns nur ſo viel Erleuchtung, als der zehntauſendſte Theil der Mondſcheibe mit einem Hundertſtel des Mondlichtes thun würde, das heißt nur ein Milliontel der Erleuchtung, welche der Mond uns giebt. — Daß indeß dieſe Abſchätzungen nur oberflächlich ſeyn können, da wir nicht wiſſen, ob nicht die Oberfläche des Saturn ſchneeweiß, die des Mondes grau iſt, verſteht ſich von ſelbſt.

Ich ſchließe dieſe Bemerkungen, zu denen die Betrachtung des grad-linig fortgehenden Lichtes Veranlaſſung gab, um zu den noch mannigfaltigeren Erſcheinungen des zurückgeworfenen Lichtes überzugehen, und erwähne nur noch, daß einige andere Methoden photometriſcher Meſſung ſpäter ihre Erklärung finden werden.

Neunundzwanzigſte Vorleſung.

Zurückwerfung des zerſtreuten Lichtes von den Oberflächen der Körper.

Die Erſcheinungen, welche das Licht uns darbietet, ſind uns allen in ſo großer Mannigfaltigkeit bekannt, daß es wohl eben nicht als eine Verletzung der wiſſenſchaftlichen Anordnung des Vortrages erſcheinen wird, wenn ich zuweilen Erſcheinungen erwähne, deren Entſtehung noch nicht genau erklärt iſt. In Hinſicht hierauf habe ich kein Bedenken getragen, von der Beobachtung einer gleichen oder ungleichen Erleuchtung zu reden, ohne ſchon darauf aufmerkſam zu machen, daß wir dieſe Erleuchtung vermittelſt des von den Körpern zu unſerm Auge zurückgeworfenen Lichtes wahrnehmen; auf ähnliche Weiſe werde ich die Umſtände, wodurch unſer Sehen möglich wird, erſt viel ſpäter erklären können, obgleich ich ſchon hier vom Sehen, als von etwas Bekanntem, reden muß. Aber nachdem wir die Erſcheinungen, welche der gradlinige Fortgang der Lichtſtrahlen uns darbietet, umſtändlich betrachtet haben, iſt es Zeit genauer zu fragen, wie denn die an ſich dunkeln Körper uns durch die empfangene Erleuchtung ſichtbar werden? Wir ſind gewohnt, dieß ſo anzuſehen, als ob nun auch von ihnen Lichtſtrahlen ausgehen; ſie werfen das empfangene Licht zurück und auch ſie ſenden nun Licht aus, aber ſie thun dieſes nur vermöge der von andern Körpern empfangenen Erleuchtung und nach dem Maaße dieſer Erleuchtung, jedoch ſo, daß ſie lange nicht ſo viel Licht zurückwerfen, als ſie empfingen, und daß ſie nach Verſchiedenheit ihrer Beſchaffenheit einen geringern oder größern Theil des auf ſie fallenden Lichtes zurückwerfen. Die weißen Oberflächen werfen mehr Licht zurück, als die grauen, und eine ſchwarze Oberfläche zeigt, je ſchwärzer ſie erſcheint, deſto weniger erleuchtende Wirkung; das völlige Schwarz würde uns da erſcheinen, wo gar keine Lichtſtrahlen zurückgeworfen würden. Da von den Farben der Körper hier noch nicht geredet werden kann, ſo giebt dieſe zerſtreute Zurückwerfung des Lichtes uns nur zu wenigen näheren Unterſuchungen Veranlaſſung.

Wir legen den weißen Flächen und denen, die in das Graue übergehen, einen verſchiedenen Grad von Weiße bei, und verſtehen eben darunter ihre ungleiche Fähigkeit, das Licht zurückzuwerfen. Dieſen Grad der Weiße zu beurtheilen könnte folgendes Experiment, das ſchon hier verſtändlich iſt, dienen.

Es iſt bekannt, daß ſelbſt ein graues Papier unſerm Auge recht lebhaftes Licht zuwirft, wenn es eine ſtarke Erleuchtung empfängt, und ein ſehr weißes Papier neben einem nicht ſo weißen könnte durch verſchiedene Erleuchtung unſerm Auge als dieſem an Glanz ziemlich gleich erſcheinen; da wir nun die Erleuchtung ihrem Grade nach berechnen können, ſo würden wir demjenigen Papiere nur die Hälfte der Weiße beilegen, das bei doppelt ſo lebhafter Erleuchtung uns nur ebenſo hell als das andre erſchiene. Auf dieſem Wege können wir nicht allein ſelbſt, — worüber unſer Auge ſogleich entſcheidet, — die größere oder mindere Weiße beurtheilen, ſondern in Vergleichung gegen einen beſtimmten Körper, z. B. friſch gefallenen Schnee, könnten wir auch nach einem ſichern Maaßſtabe das beurtheilen, was uns nicht unmittelbar vor Augen liegt, wenn ein Andrer dieſe Vergleichung angeſtellt hat. So beurtheilen wir indeß nur vergleichend die Weiße des einen Körpers gegen die des andern, und die Frage, wie viel jeder von dem empfangenen Lichte zurückwirft, bleibt unentſchieden; ein Experiment, das darüber Entſcheidung gäbe, kann ich erſt ſpäter anführen, und ich muß mich hier begnügen zu ſagen, daß ſelbſt das weißeſte Papier nur etwa die Hälfte der empfangenen Lichtſtrahlen zurückwirft, oder nur diejenige Erleuchtung für eine andre Fläche, nur denjenigen Eindruck auf unſer Auge hervorbringt, der von der Hälfte des auf die weiße Fläche auffallenden Lichtes unmittelbar hervorgebracht werden würde.

Eine intereſſante aſtronomiſche Frage hat man hieran geknüpft, nämlich welcher Grad der Weiße den verſchiedenen Planeten eigen iſt. Es giebt Zeitpunkte, wo der Mars uns ziemlich eben den geſammten Lichteindruck gewährt, wie Saturn, und da ſich aus der Entfernung beider Planeten von der Sonne und aus ihrer ſcheinbaren Größe beſtimmen läßt, welcher von beiden den meiſten geſammten Glanz zeigen ſollte, wenn ſie das Licht gleich gut zurückwürfen, ſo ergiebt ſich, welcher von beiden Planeten am meiſten geſchickt iſt, das Licht zurückzuwerfen. Saturn ſcheint nach dieſen Vergleichungen eine größere Weiße zu beſitzen, und überhaupt ſcheint ſich zu ergeben, daß die von der Sonne entfernteren Planeten mehr Licht zurückwerfen.

Dieſe Zurückwerfung des Lichtes von feſten Körpern findet, nur mehr oder weniger vollkommen, an der Oberfläche aller Körper ſtatt, und das ſo nach allen Richtungen zerſtreute Licht iſt es, wodurch uns die an ſich dunkeln Körper ſichtbar werden. Bei polirten Oberflächen dagegen findet bekanntlich eine regelmäßige Zurückwerfung des Lichtes ſtatt, eine Spiegelung, deren Geſetze eine genauere Erklärung fordern.

Geſetze der Reflexion des Lichtes im ebnen Spiegel.

Wenn ein Lichtſtrahl auf eine ebene, polirte Fläche trifft, ſo zeigt die Erfahrung, daß er unter eben dem Winkel zurückgeworfen wird, unter welchem er auffiel, und daß er bei ſeiner Reflexion in eben der gegen die ſpiegelnde Ebne ſenkrechten Ebne bleibt, in welcher er auffiel. Iſt nämlich **AB** (VI. Fig. 28) die Spiegelfläche, **CD** der einfallende Strahl und **DG** die auf die

Spiegelebne ſenkrechte Linie, welche man das Einfallsloth nennt, ſo liegt der zurückgeworfene Strahl DE in der durch CDG gelegten Ebne und die Winkel CDG, EDG ſind gleich. Hieraus folgt eine leichte Regel, wie man die Richtung beſtimmt, nach welcher hin man ſehen muß, um das Bild eines Gegenſtandes C im Spiegel zu ſehen. Man zieht nämlich von dem Gegenſtande C eine Senkrechte CF auf den Spiegel oder wenn ſie den Spiegel ſelbſt nicht mehr trifft, auf die Ebne, in der er ſich befindet, verlängert ſie, bis FH=CF iſt, und H iſt dann der Punkt, wohin jedes Auge ſich richten muß, wenn es den Gegenſtand C im Spiegel ſehen will. Es iſt offenbar, daß von C aus Lichtſtrahlen nach allen Richtungen, nach CD, Cd, Cd′ auf den Spiegel fallen; ſie alle werden unter einem ihrem Einfallswinkel gleichen Winkel nach DE, de, d′e′ reflectirt, und die zurückgeworfenen Strahlen haben, wegen dieſer Gleichheit der Winkel CdA=edB=AdH, die Richtung, als ob ſie alle von H herkämen. Man nennt daher H das Bild des Gegenſtandes, weil, obgleich in H hinter dem Spiegel nichts Wirkliches vorhanden iſt, doch alle Augen ſich nach dieſem Punkte richten, um den geſpiegelten Gegenſtand zu ſehen.

Auf dieſer Beſtimmung des Bildes beruhen einzelne Erſcheinungen, die ſich leicht erklären laſſen, wenn man für jeden Theil des geſpiegelten Gegenſtandes die Lage ſeines Spiegelbildes nach der vorigen Regel beſonders beſtimmt. Z. B. wenn ein grader Stab ſenkrecht auf dem Spiegel ſteht, ſo erſcheinen Bild und Gegenſtand als ein einziger grader Stab, und das dem Beobachter zugekehrte Ende des Stabes iſt im Spiegelbilde abwärts gekehrt. Wenn ein grader Stab einen halben rechten Winkel mit dem Spiegel macht, ſo ſcheint das Bild einen rechten Winkel mit dem Stabe zu machen. Wenn mein Auge auf das im Spiegel erſcheinende Auge eines Andern gerichtet iſt, ſo ſcheint das Bild meines Auges aus dem Spiegel heraus jenen Andern anzuſehen.

Bei unſern gewöhnlichen Glasſpiegeln zeigen ſich uns immer doppelte, auch wohl mehrfache Bilder. Hier ſind nämlich zwei das Licht zurückwerfende Flächen, indem auch die Vorderſeite des Glaſes einige Lichtſtrahlen reflectirt, wenn gleich die mehr Licht zurückwerfende, mit dem Amalgam oder der metalliſchen Folie belegte Hinterfläche uns das lebhafteſte Bild darſtellt. Es ſey HI (VI. Fig. 29) die Dicke des Spiegelglaſes HIGE, A ſey der leuchtende Punkt, ſo liegt das der Vorderfläche entſprechende Bild in K, das der Hinterfläche entſprechende in L, wenn K ſo weit hinter H, L ſo weit hinter I liegt, als A vor der einen und vor der andern Fläche, AH=HK, AI=IL. Das Auge in O erhält alſo einen von B und einen von C aus zurückgeworfenen Lichtſtrahl und der letztere macht den lebhafteren Eindruck. Iſt der Spiegel an der hintern Seite ſo geſchliffen, daß ſeine Hinterſeite mit der Vorderſeite parallel iſt, ſo müſſen, wenn man das Auge von O gegen o zu bewegt, beide Bilder einander regelmäßig begleiten, das heißt, der Winkel zwiſchen den beiden reflectirten Strahlen BO, CO iſt bei o nicht erheblich von dem bei O verſchieden. Dagegen wenn die Hinterſeite, ſo wie bei EF,

unregelmäßig iſt und der Spiegel zwar bis E parallele Flächen hat, aber gegen F zu dünner wird, ſo liegt das der Fläche EF entſprechende Bild in M (nämlich ſo weit hinter der nach N verlängerten FE, als A vor derſelben liegt, AN=NM), und das Auge in P ſieht die Bilder auffallend weiter aus einander gerückt, als es in O, o der Fall war. Wir bemerken dieſe ungleiche Fortrückung der Bilder ſehr oft in unſern Spiegeln. Der ſcheinbare Abſtand beider Bilder von einander läßt uns zugleich über die Dicke des Spiegels urtheilen, indem ein ganz nahe an der Oberfläche des Spiegels gehaltener Gegenſtand uns ſein erſtes Bild unmittelbar hinter der Vorderfläche, ſein zweites aber um die doppelte Dicke des Spiegels hinter der Vorderfläche zeigt.[1] Wir ſehen in unſern gewöhnlichen Spiegeln mehr als zwei Bilder; denn wenn ein in B von der Hinterſeite (VI. Fig. 30) reflectirter Strahl die Vorderſeite C erreicht, ſo dringt er zwar größtentheils hervor, wird aber auch zum Theil nach D und von D wieder nach O zurückgeworfen; das Auge O ſieht daher außer den beiden erſten Bildern E, F noch ein drittes Bild nach der Richtung OD und durch wiederholte Zurückwerfung von beiden Oberflächen ſogar noch mehrere Bilder.

Erſcheinungen bei der Verbindung zweier Spiegel.

Die wiederholte Zurückwerfung des Lichtes zeigt ſich noch vielfacher bei mehreren Spiegeln, und dabei gilt die allgemeine Regel, daß das Spiegelbild des erſten Spiegels für jeden andern Spiegel, zu dem überhaupt reflectirte Lichtſtrahlen aus dem erſten gelangen können, wieder als ein neuer abzuſpiegelnder Gegenſtand angeſehen werden kann, weil alle Lichtſtrahlen, die vom erſten Spiegel zurückgeworfen werden, wirklich ganz die Richtung haben, als ob ſie von jenem Spiegelbilde ausgingen. Wenn zwei Spiegel parallel ſind, wie AB, CD (VI. Fig. 31), und ein Licht L ſich zwiſchen beiden befindet, ſo ſieht man nicht allein das gewöhnliche Bild I, welches ebenſo weit hinter dem Spiegel liegt, als L vor dem Spiegel, ſondern das Bild l^{I} aus dem andern Spiegel giebt uns ein neues Bild l^{II} im erſten Spiegel, und es iſt $Fl^{I} = FL$, $El^{I} = El^{II}$; ebenſo giebt l ein zweites Bild im zweiten Spiegel l^{III} und dadurch ein drittes Bild l^{IV} im erſten Spiegel u. ſ. w.; jedes dieſer aus mehrmaliger Reflexion entſtandenen Bilder iſt ſchwächer, je öfter ſich die Zurückwerfung wiederholt hat, weil bei jeder Reflexion nicht alles Licht zurückgeworfen wird; man ſieht daher nicht allein die immer entfernteren Bilder auch kleiner, ſondern zugleich von matterem Lichte, und erkennt ſelten mehr als ſechs oder acht Lichter. Auf eben dieſen wiederholten Zurückwerfungen beruhen die Erſcheinungen im Winkelſpiegel und im Caleidoſcop. Wenn man zwei ebene Spiegel CA, CB (VI. Fig. 32) unter einem Winkel von 60 Graden gegen einander geneigt ſtellt, ſo ſieht man von dem Lichte L die gewöhnlichen Bilder l^{I}, l^{II} in jedem der beiden Spiegel; aber der Spiegel

[1] Der Abſtand des zweiten Bildes von der Vorderfläche iſt wegen der Brechung des Lichtes im Glaſe etwas kleiner als die doppelte Dicke des Glaſes.

CA giebt auch die ſcheinbar von dem Bilde l^{I} ausgehenden Strahlen zurück, und dieſes ſo, als ob ſie von l^{III}, eben ſo weit hinter CA, als l^{I} vor CA iſt, ausgingen; l^{III} iſt alſo ein drittes Bild, und ebenſo l^{IV} ein viertes, wenn man l^{II} l^{IV} auf CB ſenkrecht zieht und l^{IV} ſo weit hinter als l^{II} vor CB annimmt; endlich entſteht noch ein fünftes Bild l^{V}, das zugleich als Abſpiegelung des Bildes l^{IV} in CA und als Abſpiegelung des Bildes l^{III} in CB anzuſehen iſt. Wäre der Winkel ACB ein Achtel des Umfanges, ſo würden die auf ähnliche Weiſe gegen einander liegenden Lichter Ll^{I}, l^{II} l^{III}, l^{IV} l^{V} viermal wieder kommen. Um dieſe Erſcheinung ganz zu verſtehen und ſich zu überzeugen, daß auch des Bildes l^{I} geſpiegeltes Bild l^{III} ebenſo, wie für den Gegenſtand L ſelbſt, beſtimmt wird, hat man nur nöthig, die in das Auge O gelangenden Lichtſtrahlen, $Lm^{I}O$, durch welche das Auge das Bild l^{I} ſieht, $Lm^{II}m^{III}O$, durch welchen das Auge das Bild l^{IV} ſieht, und ſo ferner zu zeichnen, um ſogleich die Gleichheit der Winkel bei der einmaligen Reflexion in m^{I} ($Cm^{I}L = Bm^{I}O$), bei der zweimaligen Reflexion in m^{II}, m^{III} ($Lm^{II}A = m^{III}m^{II}C = m^{II}m^{III}C = Bm^{III}O$) zu erkennen. Und hierin haben Sie zugleich die Erklärung der bekannten, ſchönen Erſcheinungen im Caleidoſcope, wo die regelmäßig geordneten Bilder der zwiſchen den beiden Spiegeln CA, CB liegenden farbigen Körper durch ihre Symmetrie einen ſo angenehmen Anblick gewähren, welcher durch die unendliche Mannigfaltigkeit im Wechſel der Anordnungen, weil die Körper beweglich ſind, einen unaufhörlich erneuerten Reiz erhält, ſo daß man faſt nicht müde wird, dem immer neuen Wechſel ſchöner Erſcheinungen ſeine Aufmerkſamkeit zu ſchenken.

Täuſchungen in Beziehung auf die Lage der Bilder.

Ehe ich zu den nützlichen Anwendungen übergehe, die wir von den ebnen Spiegeln bei Inſtrumenten machen, muß ich einen Augenblick bei einem Einwurfe verweilen, den man wohl zuweilen in Beziehung auf die ſcheinbare Lage der Bilder im Spiegel zu machen geneigt iſt. Wenn wir in einem undurchſichtigen, ſchön polirten Spiegel die Bilder der vor dem Spiegel liegenden Gegenſtände ſehen, ſo erſcheinen ſie uns gewöhnlich ſo lebhaft, daß wir ſie genau ſo, als ob ſie hinter dem Spiegel lägen, erkennen, und völlig geneigt ſind, das Bild jedes Gegenſtandes als da, wohin die Theorie es verſetzt, erſcheinend anzunehmen; aber ſchon in einem ſchlecht polirten Metalle, in der Oberfläche polirten Holzes oder irgend eines andern Körpers, wo die Oberfläche ſelbſt uns durch viele zerſtreut zurückgeworfene Lichtſtrahlen ſichtbar wird, findet jene Täuſchung nicht ſo beſtimmt ſtatt, ſondern wir ſind hier eher geneigt, das geſpiegelte Bild näher hinter der Oberfläche zu ſuchen; etwas Aehnliches iſt der Fall, wenn wir in einem unbelegten, alſo völlig durchſichtigen Glaſe die geſpiegelten und zugleich die hinter dem Glaſe liegenden Gegenſtände ſehen. Die optiſchen Regeln bleiben auch in dieſen Fällen dieſelben, aber unſer Urtheil verliert an Sicherheit, weil wir zweierlei Gegenſtände zugleich ſehen; wir werden dann geneigt, die Holzfaſern im polirten Holze

zur Bezeichnung der Stelle, von welcher der reflectirte Strahl ausgeht, ins Auge zu faſſen, und je feſter wir das Auge in gleicher Stellung feſthalten, deſto vollkommener können wir die Täuſchung, als erſchiene der geſpiegelte Gegenſtand in dieſer Oberfläche ſelbſt, beſtärken; ungefähr ebenſo iſt es, wenn wir durch das ſpiegelnde Glas auf Gegenſtände jenſeits des Glaſes ſehen. Wollen wir uns hier überzeugen, daß die nach optiſchen Regeln beſtimmte Lage des Bildes noch immer richtig beſtimmt iſt, ſo haben wir nur (VI. Fig. 33) nöthig, das Auge von O nach o zu verrücken, wo der entferntere Gegenſtand A uns viel mehr, als der nahe Gegenſtand B, fortzurücken ſcheint, jener von D nach d, dieſer nur von E nach e. Aehnliche Vergleichungen finden auch ſtatt, wenn man den geſpiegelten Gegenſtand auf einen hinter dem Glaſe liegenden bezieht.

Der Cryſtallwinkelmeſſer (Reflexionsgoniometer).

Die ebnen Spiegel haben zu mehreren ebenſo merkwürdigen, als nützlichen Anwendungen bei Inſtrumenten geführt. Zu dieſen Inſtrumenten gehört der Winkelmeſſer für Cryſtalle. Wenn (VI. Fig. 34) ABC zwei unter einem Winkel verbundene Spiegel oder zwei ſpiegelnde Seitenflächen eines Cryſtalles ſind, ſo iſt es offenbar, daß man durch eine Drehung des Cryſtalles die Seite BC in eben die Lage, wo vorhin AB war, bringen kann, und daß dann das genau an ſeiner Stelle gebliebene Auge O den Reflex des Lichtes D ebenſo in der zweiten Fläche ſehen wird, wie vorhin in der erſten. Um alſo den Winkel ABC eines kleinen Cryſtalls zu meſſen, iſt es nur nöthig, ihn an der Axe eines eingetheilten Kreiſes ſo zu befeſtigen, daß die durch B gehende Durchſchnittslinie der beiden Ebnen AB, BC mit der Drehungsaxe des Kreiſes zuſammenfalle; wenn man dann die auf der einen Seitenfläche beobachtete Spiegelung durch Umdrehung des Kreiſes genau ebenſo auf der andern Fläche hervorbringt, ſo kann man an der Zahl von Graden, um welche der Kreis gedreht worden iſt, die Größe des neben ABC liegenden Winkels oder des Winkels CBa kennen lernen. Die genaue Stellung des Cryſtalles, ſo daß ſeine Seitenlinie mit der Axe des Kreiſes parallel iſt, macht an dem zu dieſem Zwecke beſtimmten Wollaſton'ſchen Goniometer einige Vorrichtungen nöthig, die dieſes Inſtrument von andern Winkelmeſſern unterſcheiden. Der bei h (VI. Fig. 35) befeſtigte Cryſtall kann nämlich, indem man Oo verſchiebt, der Axe des Kreiſes genähert oder davon entfernt werden, und das Gelenk bei r, welches die beiden Bogen fr, to verbindet, dient, diejenige Seitenlinie, welche als Durchſchnittslinie der beiden Seitenflächen in Betrachtung kömmt, ſenkrecht auf die Ebne des Kreiſes zu ſtellen; die Scheibe i dreht die Axe f, woran der Cryſtall befeſtigt iſt, allein; die Scheibe k dreht den getheilten Kreis ab, welcher die durch hinreichende Reibung in ihm feſtgehaltene Axe mit fortführt, wenn man nicht durch eine Drehung bei i die Axe beſonders in Bewegung ſetzt.

Der Spiegelſextant.

Ein zweites von den Geſetzen des Spiegels abhängendes Inſtrument iſt der Spiegelſextant. Jedem, der ſich auch nie ſelbſt mit practiſch geometriſchen Arbeiten oder mit dem Feldmeſſen abgegeben hat, iſt es einleuchtend, daß man die Richtungslinien AB, AC (VI. Fig. 36) nach zwei entfernten Gegenſtänden B, C zwar auf einem feſtſtehenden Inſtrumente leicht bezeichnen und ſo den Winkel bAc abmeſſen kann; daß dieß aber mit der größten Schwierigkeit verbunden iſt, wenn man ſich auf einem ſchwankenden oder ſeine Stelle ändernden Schiffe befindet, wenn man am Fenſter eines Thurmes jene Gegenſtände nur ſehen kann, indem man das Inſtrument außerhalb des Fenſters hinaus hält, und unter ähnlichen Umſtänden. Mit Hülfe eines gewöhnlichen Winkelmeſſers nämlich kann man immer nur einen Gegenſtand nach dem andern beobachten; das zuerſt gegen B gerichtete Lineal, deſſen richtige Stellung uns den Punkt b auf dem Gradbogen kennen gelehrt hatte, muß nun nach C gewandt werden, damit wir den Bogen bc ableſen können, und es bedarf daher eines feſten Standpunktes, damit das Inſtrument in der Zwiſchenzeit unverrückt bleibe. Um in einer unſichern, wankenden Stellung oder auf einem nie ganz unverrückt bleibenden Schiffe dieſen Winkel zu meſſen, müßte man nach beiden Gegenſtänden zugleich viſiren, und dieſes iſt mit Hülfe zweier Spiegel, ſo wie ſie beim Spiegelſextanten vereinigt ſind, möglich. Hier nämlich (VI. Fig. 37) iſt AB der ſechſte Theil eines eingetheilten Kreiſes (und daher heißt das Inſtrument ein Sextant), an welchem im Mittelpunkte C eine Regel, ein um den Mittelpunkt drehbares Lineal, befeſtigt iſt, welches einen Spiegel lg, ſenkrecht ſtehend auf der Ebne des Kreiſes, mit ſich fortführt; ein zweiter Spiegel iſt feſtſtehend in IF angebracht, und in dieſen hinein ſieht man durch das ebenfalls an dem Kreiſe befeſtigte Fernrohr O. Der Spiegel IF hat nur eine ſolche Höhe, daß er die Oeffnung des Fernrohrs ungefähr halb verdeckt, ſo daß man durch O ſowohl den Gegenſtand H über dem Spiegel wegſehend, als die Bilder von Gegenſtänden im Spiegel beobachten kann; zugleich hat der Spiegel IF die Stellung, daß er mit der nach dem Nullpunkte B gerichteten Lage des Lineals CB parallel iſt. Nun läßt ſich leicht überſehen, daß das durch O beobachtende Auge das Bild des ſehr entfernten Gegenſtandes H im Spiegel ſehen muß, wenn LG mit IF parallel und beider Lage ſo iſt, daß die Winkel ONF=INC gleich werden. Der Gegenſtand H braucht nämlich nur einige tauſend Fuß entfernt zu ſeyn, ſo wird man ſchon die von ihm herkommenden Lichtſtrahlen KC und HNO als unter ſich parallel anſehen dürfen, und da parallele Linien KC, HN mit parallelen Linien LG, IF gleiche Winkel machen, ſo wird, bei der vorausgeſetzten Stellung der Spiegel, der Lichtſtrahl KC vom erſten Spiegel LG unter dem Winkel NCG=KCL zurückgeworfen und erreicht, zum zweiten Male reflectirt, weil INC=ONF=HNI war, durch das Fernrohr gehend, das Auge. So lange alſo das Lineal CB mit ſeinem Spiegel auf Null geſtellt bleibt, ſieht man den Gegenſtand H durch das Fernrohr doppelt,

nämlich durch den graden Lichtſtrahl und durch Spiegelung, und bei genauer Einſtellung des Lineals decken ſich die beiden Bilder deſſelben Gegenſtandes vollkommen. Wird dagegen das Lineal fortgedreht, ſo daß es nach und nach die Stellung CD erreicht, wobei der Spiegel nach lg kömmt, ſo ſieht das Auge durch das Fernrohr blickend zwar noch immer den Gegenſtand H über dem Spiegel weg, aber nun gehen die geſpiegelten Bilder andrer Gegenſtände vor ihm vorbei; und wenn man die Lage eines gewiſſen Gegenſtandes S beſtimmen will, ſo hält man das Lineal an, wenn dieſer Gegenſtand S im Spiegel mit dem nach grader Richtung geſehenen Gegenſtande H zugleich erſcheint. Da das Fernrohr und der zweite Spiegel ihre feſte Stellung am Kreiſe behalten, ſo wird der nach zweimaliger Spiegelung reflectirte Strahl noch immer in der Richtung NO zum Auge gelangen und eben deshalb auch immer nach der Richtung CN vom erſten Spiegel ausgegangen ſeyn; aber dieſer erſte Spiegel hat jetzt die Stellung lg und der unter dem Winkel NCg zurückgeworfene Strahl muß unter dem ebenſo großen Winkel SCl aufgefallen ſeyn; damit iſt offenbar die Lage des Punktes S, der bei dieſer Stellung im Spiegel erſcheint, beſtimmt. Dieſe Lage, um welchen Winkel SCK nämlich die Richtung CS von CK abweicht oder welcher Winkel zwiſchen den vom Auge nach H und nach S gezogenen Linien liegt, wird auf dem Gradbogen BDA beſtimmt. Iſt LG um 20 Grade fortgerückt, ſo iſt der Zurückwerfungswinkel NCg um 20 Grade kleiner als NCG, und ebenſo groß muß der Unterſchied zwiſchen den Winkeln SCl und KCL ſeyn; es iſt daher KCS doppelt ſo groß = 40 Grad, weil $KCl = KCL + 20^0$,

$$SCl = KCL - 20^0 = NCg = NCG - 20^0,$$

$SCK = 40^0$ iſt, oder mit andern Worten: indem der Spiegel um 1 Grad fortrückt, ändert ſich ſowohl der Einfallswinkel, als der Reflexionswinkel um 1 Grad, und der geſpiegelte Gegenſtand iſt alſo um 2 Grade von demjenigen Gegenſtande entfernt, den man bei der vorigen Stellung im Spiegel ſah.

Der Bogen BD enthält daher allemal halb ſo viel Grade als der Winkel KCS, und man pflegt deshalb hier die halben Grade zu zählen, den Bogen AB des Sextanten in 120 halbe Grade zu theilen, um ſogleich jenen Winkel richtig abzuleſen. Sie überſehen leicht, daß, wenn gleich meine Darſtellung ſo lautet, als ob das Fernrohr immer unverrückt auf H gerichtet bliebe, dieſe feſte Stellung doch durchaus nicht nothwendig iſt. Mag immerhin meine Hand, die den Sextanten hält, wanken, oder mögen die Schwankungen des Schiffes mich in ungleiche Stellungen bringen, ſo werde ich doch von Zeit zu Zeit wieder die Richtung des Fernrohrs, bei welcher ich H im Fernrohr ſehe, erreichen, und nach einigem Hin- und Herrücken des Lineals CD es dahin bringen, daß ich den Gegenſtand H in grader Richtung und den Gegenſtand S im Spiegel zugleich ſehe; wenn ich nun, indem ich mehrmals dieſe Stellung wieder erreiche oder mit feſter Haltung die Gegenſtände nicht mehr aus dem Auge verliere, die Ueberzeugung gewinne, daß das Zuſammentreffen genau iſt, ſo habe ich, der Unſicherheit meiner Stellung ungeachtet, den

verlangten Winkel gemeſſen. Auf dieſe Weiſe beſtimmt man auf dem Schiffe die Sonnenhöhe, indem man nach dem Seehorizonte ſieht und das geſpiegelte Sonnenbild, durch Verdunkelungsgläſer geſchwächt, mit dem Horizonte zuſammenfallend erblickt; auf eben die Weiſe nimmt man den Abſtand des Mondes von der Sonne oder von Sternen, um daraus die geographiſche Länge zu berechnen.

Man kann das Inſtrument auch leicht benutzen, um den ſcheinbaren Durchmeſſer eines Gegenſtandes zu beſtimmen, denn wenn man bei einer wenig von 0 abweichenden Stellung des Lineales die beiden Bilder deſſelben Gegenſtandes nebeneinander im Felde des Fernrohres erblickt, ſo iſt es leicht, eine ſolche Stellung zu treffen, daß der linke Rand des einen Bildes mit dem rechten des andern in Berührung kommt, und der bei dieſer Stellung des Lineales abgeleſene Winkel giebt den ſcheinbaren Abſtand des linken und rechten Randes, d. h. den ſcheinbaren Durchmeſſer des Gegenſtandes in horizontaler Richtung an. Hält man den Sextanten ſo, daß die Drehung des Lineales in einer verticalen Ebne erfolgt, ſo rücken die Bilder nach oben und unten aus einander, und man kann nun ebenſo den verticalen Durchmeſſer beſtimmen.

Noch eine ſinnreiche und nützliche Anwendung des Inſtrumentes hat zuerſt v. Humboldt gemacht, indem er dadurch die Helligkeit von Sternen verglich. Bei jedem Sextanten läßt ſich das Fernrohr vermittelſt einer Schraube ſo bewegen, daß es ohne ſeine Richtung zu ändern ſich entweder der Ebne der Eintheilung nähert oder von ihr entfernt. Hierdurch wird bewirkt, daß bei höherer Stellung des Rohres mehr Lichtſtrahlen über den Spiegel IF hinweg auf directem Wege ins Rohr gelangen, weniger dagegen durch doppelte Spiegelung, während umgekehrt bei tieferer Stellung die Menge des doppelt reflectirten Lichtes größer iſt, und es wird ſich alſo nach einigen Verſuchen eine Stellung des Rohres finden laſſen, bei der die beiden zugleich ins Fernrohr gebrachten Bilder deſſelben Sternes gleich hell erſcheinen. Nachdem dieß erreicht iſt, richtet man das Rohr auf den einen der zu vergleichenden Sterne und dreht den Spiegel ſo weit herum, daß der andre durch doppelte Spiegelung im Geſichtsfelde erſcheint, wo ſich dann durch Vergleichung der beiden neben einander geſehenen Bilder unmittelbar ergiebt, welcher Stern der hellere iſt.

Das Heliotrop.

Durch den als tiefſinniger Mathematiker ſo berühmten Gauß iſt die Zahl der Spiegelinſtrumente noch mit einem neuen vermehrt worden. Bei der großen, über das ganze Königreich Hannover ausgedehnten, höchſt genauen Meſſung, deren Direction Gauß übertragen war, wurde das auch ſonſt ſchon oft gefühlte Bedürfniß, weit ſichtbare und einen ſehr genau beſtimmten Punkt darbietende Signale zu beſitzen, öfter merklich, indem aufgerichtete Gerüſte oder andre größere Gegenſtände, Kirchthürme und dergl. nicht mit der Schärfe, die man bei der Feinheit unſrer Inſtrumente fordern darf, beobachtet werden können, weil ungleiche Beleuchtung uns z. B. bald die eine, bald die andre

Seite einer Thurmſpitze lebhafter zeigt und uns dadurch zu Fehlern im Viſiren verleitet. Hellleuchtende Feuerſignale von geringem Durchmeſſer ſind dieſem Vorwurfe nicht ausgeſetzt, aber meiſtens iſt ihr Licht am Tage zu ſchwach, um brauchbar zu ſeyn; Gauß kam daher auf den Gedanken, das zurückgeworfene Sonnenlicht als Signal anzuwenden. Bei der großen Lebhaftigkeit des Sonnenlichtes iſt ein Spiegelbild der Sonne bis zu ſehr großen Entfernungen ſichtbar, wie uns ſchon die aus weiter Ferne ſichtbaren, glänzenden Fenſter, in welchen ſich die Abendſonne ſpiegelt, zeigen, obgleich die Fenſterſcheiben nur ſehr unvollkommene Spiegel ſind. Dieſes Signal des dem Beobachter zugeworfenen Sonnenlichtes hat aber nicht allein den Vorzug eines lebhaften Glanzes, ſondern es iſt auch auf einen ſehr kleinen Raum beſchränkt, indem ein Spiegel von 3 Zoll Länge und Breite in 1 Meile Entfernung nur unter einem Sehewinkel von 2 Secunden erſcheint und man folglich, da man ſich dieſes Mittels nur bei erheblichen Entfernungen zu bedienen nöthig hat, den leuchtenden Gegenſtand leicht als innerhalb ½ Sec. beſchränkt erhalten kann. Die Intenſität des Sonnenlichtes, ſelbſt des reflectirten, iſt aber ſo groß, daß man das geſpiegelte Sonnenbild in einem 2 bis 3 zolligen Spiegel bis auf 120,000 Fuß, das heißt bis auf 5 deutſche Meilen, mit bloßem Auge ſieht, obgleich ein ſolcher Spiegel nur unter einem Sehewinkel von ⅓ bis ½ Secunde erſcheint.

Die Schwierigkeit bei der Anwendung dieſes Signales beſtand aber darin, daß man kein Inſtrument beſaß, durch deſſen Hülfe man mit Sicherheit dem entfernten Beobachter das Sonnenlicht zuwerfen oder ihn ſicher in den Stand ſetzen konnte, das geſpiegelte Bild zu ſehen, welches man, um ihm einen genauen Abſehepunkt zu geben, hervorbringt; dieſer Schwierigkeit hilft nun das von Gauß unter dem Namen Heliotrop angegebene Inſtrument ab. Es beſteht (VI. Fig. 38) aus einem Fernrohre AB, vor welchem zwei auf einander ſenkrechte Spiegel mq, gz drehbar angebracht ſind; der kleinere gz iſt in einer runden Oeffnung des größeren befeſtigt, durch welche man zugleich bei gewiſſen Stellungen der Spiegel frei mit dem Fernrohre hindurchſehen kann. Stellen auch in Fig. 39 mq, gz die beiden Spiegel vor, ſo iſt die Regel des Gebrauchs dieſe: man richtet das Fernrohr AB auf den Beobachter, welchem man das Sonnenlicht zuwerfen will, und wendet, während es ſo ſteht, die vereinigten Spiegel ſo, daß man mit dem Fernrohre in dem kleineren Spiegel gz die Sonne ſieht; alsdann ſieht der entfernte Beobachter das Sonnenbild im größern Spiegel. Es iſt nämlich einleuchtend, daß der Sonnenſtrahl SN von dem Spiegel mq nach NO geworfen wird, wenn der Spiegel gz ihn nach NB zurückwirft, weil aus der Gleichheit der Winkel SNz = BNg auch die Gleichheit der Winkel SNm = (BNm =) ONq folgt. NB und NO machen alſo eine genaue grade Linie. Dieſe durch das Heliotrop gegebenen Signale ſind freilich auf den Sonnenſchein beſchränkt, dann aber auch wegen der feſten Beſtimmung eines kleinen Punktes und wegen der genauen Kenntniß desjenigen Punktes, wohin der Beobachter, dem man das Sonnenlicht zuwirft,

viſirt, vorzüglich geeignet, bei Meſſungen, wo man eine bis auf Theile des Fußes gehende Genauigkeit fordert, angewandt zu werden.

Der Helioſtat.

Noch ein Spiegelinſtrument, den Helioſtaten, kann ich hier zwar nicht wohl umſtändlich beſchreiben; aber ſeinen Zweck muß ich doch wenigſtens angeben. Es iſt bei manchen Verſuchen erforderlich, daß man einen, durch eine Oeffnung ins finſtre Zimmer fallenden Sonnenſtrahl lange Zeit in einerlei Richtung einfallend erhalte; aber das Fortrücken der Sonne geſtattet dieſes nicht. Läßt man das Sonnenbild, von einem ebnen Spiegel reflectirt, jenen Strahl in das finſtre Zimmer werfen, ſo gewährt dieß zwar den Vortheil, dem Sonnenſtrahle eine willkührliche Richtung zu geben, aber mit dem Fortrücken der Sonne am Himmel ändert ſich dieſe Richtung. Der Helioſtat iſt dagegen beſtimmt, dem Sonnenſtrahle eine feſte Richtung zu geben, und dieſes bewirkt er dadurch, daß er, vermittelſt eines Uhrwerkes, den Spiegel ſo fortführt, wie es nöthig iſt, um den zurückgeworfenen Strahl immer in derſelben Richtung zu erhalten. Die dazu von 'sGraveſande gemachte Anordnung des Inſtrumentes iſt ziemlich zuſammengeſetzt und die Erklärung der Gründe für dieſe Anordnung ſind nicht leicht, weshalb ich ſie hier übergehe.[1] In Ermangelung eines ſo koſtbaren Inſtruments pflegt man den Spiegel, den man an den Fenſterladen anſchraubt, um einen Lichtſtrahl in das dunkle Zimmer zu werfen, mit zwei Schrauben zu verſehen, damit eine gehörige Aenderung in der Stellung des Spiegels das zu beobachtende Sonnenbild ſtets an einer Stelle und den Sonnenſtrahl in ſtets gleicher Richtung erhalte.

Dreißigſte Vorleſung.

Der Hohlſpiegel.

Unter den Spiegeln, deren Oberflächen krumm ſind, verdienen die Hohlſpiegel, die entweder kugelförmig oder paraboliſch geſchliffen werden, wegen der mannigfaltigen Anwendung, welche ſie darbieten, vorzügliche Aufmerkſamkeit. Die Geſetze der Zurückwerfung des Lichtes ſind bei krummen Flächen dieſelben, wie bei Ebnen, nur muß man hier die Gleichheit des Einfallwinkels und des Reflexionswinkels von der berührenden Ebne an rechnen oder unter dem Einfallslothe die auf dieſe berührende Ebne ſenkrechte Linie verſtehen. Sobald man dieß berückſichtiget, iſt es leicht, die Erſcheinungen des Sammelns der Strahlen, des Entſtehens der Bilder u. ſ. w. zu erklären. Es ſey **AB** (VII. Fig. 1) ein Theil einer ſpiegelnden Kugelfläche, deren Mittelpunkt in **C** liegt, **D** ſey ein in dem verlängerten Radius **CE** liegender leuchtender Punkt, ſo iſt leicht zu überſehen, daß ein Lichtſtrahl **DG**, welcher in **G** den Spiegel trifft,

[1] S. Gehler's Wörterbuch. Art. Helioſtat.

ſo nach F zurückgeworfen wird, daß er in F mit der Linie DC zuſammentrifft, wenn er ſowohl mit der Tangente IH die gleichen Winkel DGH, FGI, als mit dem Einfallslothe CG die gleichen Winkel FGC, DGC bildet; hier iſt GC auf GH ſenkrecht und der Halbmeſſer zugleich das Einfallsloth. Zeichnet man für einen andern Punkt g ebenſo DgC = FgC, ſo findet ſich, daß die zurückgeworfenen Strahlen GF, gF faſt genau in eben dem Punkte F der Linie ED, welche man die Axe des Spiegels nennt, eintreffen und dort alſo eine ſtarke Erleuchtung hervorbringen. Dieſes genaue Zuſammentreffen der reflectirten Strahlen in einem Punkte findet jedoch nur für die nahe bei E einfallenden Strahlen ſtatt; man giebt daher dem Hohlſpiegel keine allzu bedeutende Breite in Vergleich zum Halbmeſſer EC, damit die von entfernteren Punkten A aus zurückgeworfenen Strahlen, welche nicht in F eintreffen, keine Verwirrung in das Bild, welches man durch den Hohlſpiegel hervorzubringen beabſichtigt, bringen.

Um aber richtig zu überſehen, warum hier ein wahres Bild des Gegenſtandes entſteht, hat man nur nöthig, Folgendes zu überlegen. Wenn neben D ein zweiter leuchtender Punkt d liegt, ſo findet man für die von ihm auf den Spiegel fallenden Strahlen ebenſo auf dem Halbmeſſer Ce, der verlängert durch d geht, einen Sammelpunkt der Strahlen in f, wie wir ihn eben vorhin in F fanden, und wenn alſo D ein rothes, d ein blaues Licht hätte, ſo würde auch F mit rothem, f mit blauem Lichte erleuchtet ſeyn; es wird ſich alſo bei Ff eine ebenſo geordnete Reihe von erleuchteten Punkten finden, wie in Dd von leuchtenden Punkten, alſo ein Bild des Gegenſtandes Dd entſtehen. Um dieſes Bild in allen Stellungen des Auges deutlich zu erkennen, muß man entweder ein weißes Papier oder ein mattgeſchliffenes Glas in Ff halten, und nur darauf achten, daß dieſer, das zurückgeworfene Licht auffangende Körper nicht zu groß ſey, damit er nicht zu ſehr die von Dd kommenden Lichtſtrahlen hindere. Das matt geſchliffene Glas hat den Vorzug, daß auch ein in der Gegend O ſtehendes Auge dieſes Bild, der Durchſichtigkeit halber, deutlich erkennt. Dieſes Bild iſt umgekehrt, denn es erhellt, daß f unterhalb F liegt, wenn d oberhalb D lag.

Es iſt gut, ſchon hier auf den Unterſchied zu achten, der zwiſchen dem ſcheinbaren (virtuellen) Bilde, z. B. eines ebenen Spiegels, und zwiſchen dem wirklichen Bilde eines Hohlſpiegels ſtatt findet. Bei jenem haben die Lichtſtrahlen nur eine ſolche Richtung, als ob ſie von einem Vereinigungspunkte ausgingen, ohne es doch wirklich zu thun, daher kann man ein ſolches Bild nicht auf einer Fläche auffangen und überhaupt nicht bis an den Punkt verfolgen, an dem es ſich darzuſtellen ſcheint. Das wirkliche Bild hingegen entſpringt aus einer wirklichen Vereinigung aller der Lichtſtrahlen, die von den einzelnen leuchtenden Punkten des Gegenſtandes aus zum Spiegel gelangen; daher kann es auf einer Fläche aufgefangen werden, und da die Lichtſtrahlen nach ihrem Durchgange durch den Vereinigungspunkt ſich wieder ausbreiten, ſo kann ein ſolches wirkliches Bild auch unmittelbar mit den Augen, wie in

der Luft ſchwebend, geſehen werden, wenn der Beobachter einen Ort wählt, zu welchem die reflectirten Lichtſtrahlen erſt nach dem Durchgange durch den Vereinigungspunkt gelangen.

Wenn der Gegenſtand Dd ſich weiter entfernt, ſo geht das Bild Ff etwas näher gegen E zu, aber es kann höchſtens bis an die Mitte des Halbmeſſers CE kommen, wie folgende Ueberlegungen zeigen. Es ſei SE (VII. Fig. 2) ein Lichtſtrahl, der von einem ſehr entfernten Punkte kömmt, ſo wird man einen von eben jenem Punkte kommenden Strahl sH als parallel mit dem vorigen auffallenden Strahle anſehen dürfen; denn es iſt Ihnen bekannt, daß der Winkel, welchen dieſe von einem ſehr entfernten Punkte ausgehenden Strahlen mit einander machen, ſehr klein iſt. Nach dem Geſetze der Reflexion an der Kugelfläche wird nun erſtlich SE in ſeiner urſprünglichen Richtung wieder zurückgeworfen, weil er ſenkrecht auffällt; aber zweitens wird der Lichtſtrahl sH nach F ſo reflectirt, daß sHC = FHC iſt, und da bei Parallellinien HCF ebenſo groß iſt, ſo hat das Dreieck CHF zwei gleiche Winkel und eben darum auch zwei gleiche Seiten FH = FC, die den gleichen Winkeln gegenüberſtehen. Allemal alſo, oder für jeden Punkt H des Spiegels, liegt F ſo, daß FH = FC iſt, und je näher H an E rückt, deſto genauer muß HF die Hälfte der EC werden, ſo daß für ſehr entfernte Punkte das Bild oder der Vereinigungspunkt der bei EH reflectirten Strahlen in die Mitte zwiſchen E und C fällt. Der das Licht ausſendende Gegenſtand kann ſchon ziemlich nahe rücken, ehe das Bild ſich ſehr merklich von jenem V e r e i n i g u n g s p u n k t e, den man für ſehr entfernte Gegenſtände den B r e n n p u n k t des Spiegels nennt, entfernt; aber wenn der Gegenſtand ſehr nahe rückt, ſo geht das Bild immer näher nach C zu, und fällt endlich in C ſelbſt, wenn auch der Gegenſtand in C angekommen iſt. In allen dieſen Fällen iſt das Bild kleiner, als der Gegenſtand, indem aus Fig. 1 leicht zu ſehen iſt, daß Ff deſto kleiner gegen Dd iſt, je entfernter Dd vom Mittelpunkte liegt.

Wenn dagegen der leuchtende Gegenſtand (VII. Fig. 1) in Ff liegt, dem Spiegel etwas näher als der Mittelpunkt C, ſo rückt das Bild in eine größere Ferne hinaus und wird nun größer als der Gegenſtand. Es findet dabei die leicht zu überſehende Regel ſtatt, daß der Gegenſtand Ff ſein Bild in Dd zeigen wird, wenn umgekehrt ein Gegenſtand Dd ſein Bild in Ff dargeſtellt hätte. Stellt man in Ff ein brennendes Licht auf, ſo ſieht man an der Wand in Dd ein vergrößertes und umgekehrtes Bild der Lichtflamme, und dieſes größere Bild zeigt ſich deſto matter erleuchtet, je größer es iſt; denn da in dieſem Bilde doch immer nur diejenigen Strahlen zur Erleuchtung beitragen, die von einem beſtimmten Theile des Spiegels ausgehen, und die Menge der vom Spiegel aufgefangenen Strahlen ſich nicht ſo ſehr ändert, wenn die Flamme auch vom Brennpunkte etwas gegen den Mittelpunkt fortrückt, ſo muß das Bild deſto matter erſcheinen, je größer der Raum iſt, auf welchen ſich die Erleuchtung verbreitet. Dieſes Größerwerden des Bildes, verbunden mit dem weiteren Hinausrücken deſſelben, findet ſo lange ſtatt, bis der

gegen E zu fortgerückte Gegenſtand die Mitte des Radius CE erreicht hat; bringt man ihn dem Spiegel noch näher, ſo kann man nirgends mehr vor dem Spiegel ein Bild hervorbringen, ſondern das Bild erſcheint nun, einigermaßen wie im ebnen Spiegel, als hinter dem Spiegel liegend. Es bedarf nur einer etwas genauen Zeichnung, um die Richtigkeit dieſer Behauptung zu beweiſen, indem jene (VII. Fig. 3) zeigt, daß die von D kommenden Strahlen DI, D i faſt genau ſo vom Spiegel nach IM, i m zurückgeworfen werden, als ob ſie von einem Punkte V hinter dem Spiegel ausgingen; ein Auge in M ſieht alſo den Gegenſtand D nach der Richtung MV, ein Auge in m ſieht ihn nach der Richtung m V, und es iſt daher auch hier beinahe genau richtig, daß alle Augen, die den Gegenſtand D geſpiegelt ſehen, nach V gerichtet ſind. Ganz ſtreng richtig, ſo ſtreng richtig, wie beim ebnen Spiegel, iſt freilich dieſe Behauptung nicht, aber nahe genug richtig, um bei einer nicht allzu ſcharfen Beobachtung für richtig zu gelten. Der Ort des Bildes, der Punkt V, rückt immer näher an den Spiegel, je näher der Gegenſtand ſelbſt an den Spiegel heranrückt. Dieſes Bild im Spiegel iſt aufrecht und vergrößert; denn für einen zweiten Punkt d des Gegenſtandes liegt jener Punkt, nach welchem alle Augen gerichtet ſind, in v, ſo daß die Linien VDC, vdC beide durch den Mittelpunkt C des Spiegels gehen.

Ich habe Sie hier, mit einer ſo großen Mannigfaltigkeit einzelner Fälle unterhalten müſſen, daß ich faſt fürchten müßte, Sie zu ermüden, wenn dieſe Fälle ſich nicht ſo leicht zuſammenfaſſen und an einfachen Verſuchen bis ins Einzelne prüfen ließen. Für einen ſehr entfernten Gegenſtand liegt das Bild als ein wirkliches und umgekehrtes im Brennpunkte des Spiegels. Bei der Annäherung des Gegenſtandes rückt ihm das Bild entgegen, im Mittelpunkte des Spiegels begegnen ſich beide. Geht der Gegenſtand vorwärts bis zum Brennpunkte, ſo rückt unterdeſſen das Bild, immer noch als ein wirkliches und umgekehrtes, weiter und weiter, zuletzt bis in unendliche Entfernung hinaus, und ſobald der Gegenſtand den Brennpunkt überſchreitet und ſich noch mehr dem Spiegel nähert, ſieht man hinter dem Spiegel ein aufrechtes ſcheinbares Bild aus ſehr großer Ferne heranrücken, das ſich immer mehr nähert, je mehr der Gegenſtand ſelbſt ſich dem Spiegel nähert; endlich wenn der Gegenſtand den Spiegel berührt, begegnen ſich wieder Bild und Gegenſtand in einem Punkte. Bei allen dieſen Stellungen iſt die Größe des Bildes ſo beſchaffen, daß Bild und Gegenſtand aus dem Mittelpunkte des Spiegels C und auch aus deſſen Scheitel E geſehen gleich groß erſcheinen würden, das Bild iſt alſo größer als der Gegenſtand ſelbſt, wenn es weiter vom Mittelpunkte entfernt iſt als der Gegenſtand; ferner iſt das Bild ein umgekehrtes, aber wirkliches, ſo lange Bild und Gegenſtand ſich an verſchiednen Seiten des Mittelpunktes befinden, es iſt dagegen ein ſcheinbares und aufrechtes, wenn beide auf einer Seite des Mittelpunktes liegen.

Um Ihnen die eigne Wiederholung dieſer Verſuche, ſo wie ſie zu jedem einzelnen hier erwähnten Falle gehören, zu erleichtern, werden Sie mir noch

einige Bemerkungen erlauben. Wenn Sie einen Hohlſpiegel zur Hand nehmen, ſo iſt es gut, zuerſt den Brennpunkt, das iſt den Vereinigungspunkt für Strahlen, die von ſehr entfernten Punkten auffallen, zu finden, und dieſes geſchieht, wenn man das Bild Ff eines Gegenſtandes auffängt, der einige tauſend Fuß entfernt iſt. Hat man den Brennſpiegel feſt aufgeſtellt, ſo kann man dieſen Punkt durch ein in ſeiner Nähe befeſtigtes Zeichen bemerken und nun einen Gegenſtand, zum Beiſpiel den Finger oder eine Cirkelſpitze oder etwas Aehnliches, in die verſchiedenen Stellungen bringen. Läßt man das Auge immer in der Gegend D und läßt die Cirkelſpitze von C aus langſam gegen F vorrücken (VII. Fig. 1), ſo ſieht man ihr Bild deutlich von C aus auf das Auge D zu kommen, und man überzeugt ſich durch kleine Aenderungen in der Stellung des Auges leicht, daß das Bild wirklich vor dem Spiegel und zwiſchen dem Mittelpunkte und dem Auge liegt. Wenn die Cirkelſpitze zu nahe gegen F gelangt, ſo kömmt das Bild hinter den Beobachter zu liegen, und das Ueberraſchende in dem Herannahen des Bildes findet dann nicht mehr ſtatt. Man hat ſich dieſer Bilder auf mannigfaltige Weiſe bedient, um den Zuſchauer völlig zu täuſchen. Befindet ſich nämlich ein Gegenſtand in Ff, auf welchen der bei P ins Zimmer tretende Zuſchauer nicht ſo leicht aufmerkſam wird, ſo ſieht er ſogleich das ganz deutlich, nahe vor ihm in Dd in der Luft ſchwebende Bild, und ſieht dieſes ſo, als ob es ein wahrer Gegenſtand wäre; aber ſobald man ihn etwas ſeitwärts führt, iſt dieſer Gegenſtand verſchwunden, weil der Beobachter das Bild nur da ſieht, wo Lichtſtrahlen, die aus dem Spiegel kommen, ſein Auge treffen. Soll er auch außer dieſer Richtung, bei einer ſeitwärts gewählten Stellung, die Erſcheinung des Bildes ſehen, ſo muß dieſes ſich auf einem durchſichtigen Vorhange oder in einem durch das Bild erleuchteten Rauche oder auf ähnliche Art darſtellen. Die Geiſtererſcheinungen oder die Darſtellung von Luftbildern, die man wohl unter dieſem Namen ankündigt, beruhen auf ähnlichen Kunſtgriffen.

Um die Erſcheinungen alle zu ſehen, ſo fern ein Auge in D ſie wahrnehmen kann, müßte man den Gegenſtand aus ziemlicher Ferne heranrücken laſſen, damit das Bild von Ff an gegen den Mittelpunkt C zu rücke; man würde dann in C Gegenſtand und Bild zuſammentreffen und bei noch weiterem Vorrücken des Gegenſtandes, nach F zu, das Bild vergrößert gegen das Auge zu kommen ſehen. Gelangt der Gegenſtand bis jenſeits des Brennpunktes, ſo ſieht man ihn hinter dem Spiegel vergrößert.

Ich habe den Namen Brennpunkt zur Bezeichnung des Punktes, wo das Bild ſehr entfernter Gegenſtände liegt, gebraucht, ohne den Grund, warum er ſo heißt, anzugeben. Eigentlich gehört die Erklärung dieſes Namens in die Lehre von der Wärme, und es mag hier die Bemerkung genügen, daß auch die Wärmeſtrahlen ebenſo wie die Lichtſtrahlen reflectirt werden, alſo auch die von der Sonne zu uns gelangenden Wärmeſtrahlen in jenem Vereinigungspunkte geſammelt werden und dort große Wärme, ein Brennen,

bewirken. Ueber die Größe der dadurch hervorgehenden Wirkung werde ich bei der Lehre von der ſtrahlenden Wärme etwas mehr ſagen.

Hohlſpiegel auf Leuchtthürmen.

Aber ſchließen kann ich die den Hohlſpiegel betreffenden Betrachtungen noch nicht, da ich den großen Nutzen, welchen er auf Leuchtthürmen und bei andern Beleuchtungen gewährt, nicht übergehen darf. So gut, wie Strahlen, die von einem ſehr entfernten Punkte kommen oder parallel einfallen, in dem Brennpunkte vereinigt werden, ebenſo gut erhält man auch vermittelſt des Hohlſpiegels parallel zurückgeworfene Strahlen, wenn im Brennpunkte ſich ein Licht befindet. Sie erinnern ſich, daß die allmählige Schwächung des Lichteindruckes oder der Erleuchtung bei größerer Entfernung daher rührt, daß die Lichtſtrahlen aus einander gehend ſich zerſtreuen; — der Hohlſpiegel hält ſie zuſammen. Wäre in F (VII. Fig. 2) nur ein einziger leuchtender Punkt, ſo würde in S, wenn die Entfernung FS zehnmal ſo groß als FH iſt, die Erleuchtung nur ein Hundertſtel deſſen, was ſie in H beträgt, betragen; aber der Hohlſpiegel bringt, wenn er ſeinen Zweck ganz erreicht, auf Ss alle Strahlen, die auf EH fielen, und bringt folglich eine in hohem Maaße verſtärkte Erleuchtung hervor. Nun iſt es freilich wahr, daß die hiernach berechnete Stärke der Erleuchtung nicht ganz ſtatt findet, indem theils der Spiegel lange nicht alle auffallenden Strahlen zurückwirft, theils die Atmoſphäre nie ſo rein iſt, daß ſie das Licht ganz ungeſchwächt bis zu ſehr großen Entfernungen gelangen ließe; aber dennoch iſt die Verſtärkung des Lichtes groß genug, um den Zweck, die Erleuchtung in hohem Maaße zu vergrößern, vollſtändig genug zu erreichen. Wenn wir auf die Anwendung bei Leuchtthürmen ſehen, ſo ſcheint es Ihnen vielleicht unpaſſend, wenn ich da von der Größe der Erleuchtung rede; in der That würde es auch eine viel zu umſtändliche Erörterung fordern, wenn man die Stärke dieſer Erleuchtung, die in ſo großer Ferne ſo ſchwach iſt und die doch nie von dem Brennpunkte ganz allein, ſondern von einer größern Flamme ausgehen muß, ſobald ſie eine erhebliche Stärke haben ſoll, zu beſtimmen ſuchen wollte. In Beziehung auf das in großen Fernen geſehene Licht eines Leuchtthurmes iſt es daher wohl beſſer, den Gegenſtand ſo aufzufaſſen. Wenn das Licht F dem Brennpunkte ſehr nahe ſteht, ſo daß in S ein wahres Bild entſtände, ſo erhielte das Auge in S reflectirte Strahlen von allen Punkten des Spiegels, der ganze Spiegel EH würde dem Auge in S faſt ebenſo glänzend als die Lichtflamme ſelbſt erſcheinen; dadurch hätte das Auge in S den Vortheil, ſtatt des einen leuchtenden Punktes F den ganzen Spiegel leuchtend zu ſehen, alſo ein Licht von der ſcheinbaren Größe des ganzen Spiegels wahrzunehmen. So verhält es ſich in allen ſehr entfernten Punkten, ſo daß man die Entfernung, bis zu welcher man den Spiegel des Leuchtthurms ſehen kann, nach der ſcheinbaren Größe deſſelben beurtheilen muß, und dieſe ſcheinbare Größe braucht nur ſehr klein zu ſeyn, um bei heller Luft in dunkler Nacht dem Auge einen noch hinreichenden

Eindruck zu geben. Daß dieſer Glanz des Spiegels übrigens nicht völlig ſo groß iſt, daß nämlich der Spiegel nicht alle Lichtſtrahlen reflectirt, das läßt ſich leicht erwarten. Nach Herſchel's Beſtimmungen beträgt bei den beſten Spiegeln das reflectirte Licht nur ungefähr $^2/_3$ des einfallenden.

Ich habe bisher die Hohlſpiegel immer als genau kugelförmig angeſehen, weil wir mit dem Kreiſe, als der Durchſchnittslinie des Kugelſpiegels, am meiſten vertraut ſind; aber der kugelförmige Hohlſpiegel hat nicht auf das Vollkommenſte die Eigenſchaft, daß parallel einfallende Strahlen in einem einzigen Punkte vereinigt werden oder daß umgekehrt die vom Brennpunkte ausgehenden Strahlen eine genau parallele Richtung erlangen, ſondern für recht gute Hohlſpiegel, die zu Spiegelteleſcopen dienen oder auf Leuchtthürmen gebraucht werden ſollen, muß die paraboliſche Geſtalt gewählt werden. Dieſe hat den Vorzug, daß ſelbſt für Punkte H, Z (VII. Fig. 4), die von der Axe entfernter ſind, die Vereinigung in einen Punkt für parallele Strahlen genau ſtatt findet und daher das auf einen größern Theil des Spiegels auffallende Licht zur Erleuchtung dieſes Punktes beiträgt. Soll eine brennende Lampe in dem Brennpunkte eines ſo weit ausgedehnten Brennſpiegels angebracht ſein, ſo läßt man in dieſem eine Oeffnung, um gerade oberhalb der Flamme den nöthigen Luftzug durchzulaſſen. Der Spiegel bildet einen Theil einer runden paraboliſchen Fläche oder eines Paraboloids, d. h. einer Fläche, welche entſteht, wenn die Parabel, deren Beſchaffenheit Sie ſchon aus andern Betrachtungen kennen, ſich um ihre Hauptaxe dreht.

Brennlinien.

Bei dem Kreiſe und eben deshalb auch bei der Kugelfläche iſt das Zuſammentreffen der reflectirten Strahlen, die den parallel einfallenden zugehören, nicht vollkommen genau, ſondern wenn man (VII. Fig. 2) parallele Strahlen s H, t G zeichnet, und die einem jeden von ihnen zugehörenden zurückgeworfenen Strahlen H F, G I hinzufügt, ſo treffen zwar die nahe bei E auffallenden ſämmtlich ſehr nahe in einem Punkte F zuſammen, aber die entfernteren haben andere Durchſchnittspunkte. Dieſe entfernteren Strahlen darf man daher, wie ich ſchon früher bemerkt habe, nicht mit gebrauchen, das heißt, man darf nicht einen zu großen Theil des Kreiſes oder des Hohlſpiegels anwenden, wenn man ein reines Bild des leuchtenden Punktes erhalten will, weil bei einem ſo großen Theile des Spiegels nicht ein einziger erleuchteter Punkt, ſondern eine erleuchtete Linie, eine Brennlinie, hervorgeht. Da dieſe Brennlinie ſich uns am häufigſten da zeigt, wo ein nahe ſtehendes Licht ſeine Strahlen auf eine hohle Cylinderfläche wirft, etwa auf die innere Seite einer cylindriſchen Porcellantaſſe, ſo will ich ſie hier ſo zeichnen, wie ſie bei nahe ſtehendem Lichte erſcheint. Es ſtehe nämlich das Licht F über dem Rande der Taſſe (VII. Fig. 5), deren kreisförmigen Querſchnitt die Figur darſtellt, ſo werden, wenn wir bloß auf dieſen kreisförmigen Querſchnitt

ſehen, die Strahlen F a nach a α, F b nach b β, F c nach c γ und ſo ferner zurückgeworfen, und da alles von dem Bogen a b reflectirte Licht in dem kleinen Raume $\alpha\ \beta$, alles von b c reflectirte Licht ſich in dem kleinen Raume $\beta\ \gamma$ vereinigt, ſo erſcheint die Linie $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta\ \epsilon\ \zeta$ ſehr erhellt; dieß iſt nun eben das, was wir Brennlinie nennen. Sie iſt am glänzendſten in der Gegend von α, weil hier die Bogen, deren reflectirtes Licht ſich in einem kleinen Raume vereinigt, am größten ſind. Wir bemerken dieſe Linien oft genug, ihre Veränderungen bei veränderter Stellung des Lichtes u. ſ. w. gewähren eine angenehme Unterhaltung, und Sie ſehen hier nun die geometriſchen Regeln, nach welchen ſie in allen Fällen beſtimmt werden können; Sie ſehen hier die Mittel, wie wir die Punkte, die zur Erleuchtung des einen oder andern Theiles derſelben beitragen, angeben, ja ſogar, wie wir den verhältnißmäßigen Grad der in jedem einzelnen Punkte ſtatt findenden Erleuchtung finden können.

Convexe Kugelſpiegel.

Weniger wichtig für Anwendungen, als die Hohlſpiegel, ſind die erhabenen Kugelſpiegel. Jene geben uns, wie Sie in der Folge ſehen werden, Mittel, um in Teleſcopen und Microſcopen diejenigen Bilder darzuſtellen, deren Betrachtung den Zweck dieſer Inſtrumente ausmacht; die convexen Spiegel dagegen bieten zwar einen recht angenehmen Anblick der geſpiegelten Gegenſtände, aber nur in wenigen Fällen nützliche Anwendungen dar.

Die Gegenſtände erſcheinen im convexen Kugelſpiegel ſo, als ob ihr Bild innerhalb der Kugel läge, und ſehr verkleinert. Was das erſtere betrifft, ſo ergiebt die Zeichnung (VII. Fig. 6), daß die von A ausgehenden Lichtſtrahlen A B, A b nach B D und b d zurückgeworfen werden; der nach A G auffallende Lichtſtrahl wird in ſich ſelbſt reflectirt. Alle zwiſchen G und b auffallende Strahlen geben zurückgeworfene Strahlen, die ſich beinahe in einem einzigen Punkte E, der innerhalb des Spiegels liegt, durchſchneiden, und dieſer Punkt iſt als das Bild des Gegenſtandes A anzuſehen, nach ihm nämlich richten ſich, zwar nicht mit vollkommener Strenge, aber doch beinahe genau, alle Augen D, d, die den Punkt A im Kugelſpiegel ſehen wollen. Die Kleinheit des Bildes aber läßt ſich auch leicht beweiſen. Wenn A L ein leuchtender Gegenſtand iſt, und L iſt vom Mittelpunkte C ebenſo entfernt als A, ſo liegt der Punkt, den wir als Bild für L finden, in M auf der Linie C L, ſo wie E auf der Linie C A lag, und das Auge in D oder d ſieht den Gegenſtand A L, ſo als ob M E ſein Bild wäre, alſo ſtark verkleinert. Das Bild iſt aufrecht, aber nur ein ſcheinbares, und auch hier gilt die Regel, daß Bild und Gegenſtand, wenn man ſie aus dem Mittelpunkte des Spiegels betrachten könnte, gleich groß erſcheinen müßten; daher wird das Bild ſehr klein, wenn der Gegenſtand ſehr entfernt iſt. Je kleiner der Durchmeſſer des Kugelſpiegels iſt, deſto kleiner erſcheint dieſes Bild, man kann daher einen kleinen Kugelſpiegel, z. B. eine kleine mit Queckſilber gefüllte Glaskugel, anwenden, um ein ſehr kleines, hellglänzendes Sonnenbild zu erhalten.

Cylinderſpiegel. Kegelſpiegel.

Diejenigen Spiegel, deren polirte Oberfläche eine Cylinderfläche oder eine Kegelfläche iſt, würde ich, ihrer geringen Anwendbarkeit halber, gar nicht erwähnen, wenn nicht die verzerrten Zeichnungen, die man zur Darſtellung eines kenntlichen Bildes in dieſen Spiegeln zu beſitzen pflegt, doch wohl verdienten, daß wir einen Augenblick dabei verweilen. Es läßt ſich leicht überſehen, daß im Cylinderſpiegel der gerade vor dem Spiegel ſtehende Gegenſtand in der Richtung, welche mit der Axe des Cylinders zuſammenfällt, ebenſo wie im ebnen Spiegel, dagegen in der darauf ſenkrechten Richtung verkleinert, wie im Kugelſpiegel, erſcheinen muß. Die Gegenſtände erſcheinen alſo nicht im richtigen Verhältniß ihrer Theile, und dieß iſt noch weniger der Fall, wenn ſie ſeitwärts von dem auf den Spiegel ſehenden Beobachter liegen. Ein vor dem Cylinderſpiegel liegendes, in richtigen Verhältniſſen gezeichnetes Bild gibt daher ein verzerrtes Spiegelbild, und umgekehrt muß man ein nach beſtimmten Regeln unrichtiges, verzerrtes Bild zeichnen, wenn es im Spiegel in richtigen Verhältniſſen erſcheinen ſoll. Die Regeln, nach denen dieſe Zeichnungen verfertigt werden, ſind ziemlich verwickelt, ich will daher bei ihnen nicht verweilen, ſondern die viel leichteren Regeln der Zeichnung für den Kegelſpiegel angeben.

Wenn man oberhalb des Kegelſpiegels (VII. Fig. 7) A C B das Auge in der verlängerten Axe, in O hält, ſo ſieht man alle um die Grundfläche des Kegels herum liegenden Punkte abgeſpiegelt, und ihr Bild erſcheint ungefähr ſo, als ob die geſpiegelten Gegenſtände auf dieſer Grundfläche A B ſelbſt aufgezeichnet wären. Will man nun einen Gegenſtand, einen Kopf zum Beiſpiel, als Spiegelbild erhalten, ſo muß man nach folgender Regel jeden Punkt auf eine die Grundfläche umgebende Zeichnung eintragen. Man zeichnet den Kopf auf einen Kreis A B, der genau von der Grundfläche des Kegels bedeckt wird; ſoll nun der Punkt s dieſes Bildes in die Zeichnung eingetragen werden, ſo trägt man in der Hülfszeichnung, welche Fig. 46 zeigt, s ſo weit von der Axe D ein, als jener Punkt vom Mittelpunkte abſteht, zieht s O nach dem Augenpunkte, macht Winkel s E B = B E T = C E O und bemerkt, indem man ſo E T zieht, den Punkt T, wo dieſe Linie die Ebene der Grundfläche trifft; — ſo weit als T von D entfernt iſt, wird der aufzuzeichnende Punkt, auf eben dem Radius, in welchem s liegt, eingetragen. So verfährt man in Beziehung auf alle Hauptpunkte und muß dann ſuchen, geſchickt die ſo gegebenen Punkte zur Darſtellung des ganzen Zerrbildes zu benutzen. Die Zeichnung für f und f′, deren Urbild nach t und t′ kommt, zeigt, daß die Punkte, die das Auge O um die Mitte ſehen ſoll, am weiteſten hinaus gerückt werden; daher denn bei einem abgebildeten Geſichte, deſſen Mund gerade die Mitte des Spiegelbildes ausmachen ſoll, die Seltſamkeit eintritt, daß die Lippen rund um den Rand des Zerrbildes laufen, während in der Gegend T zum Beiſpiel die Stirn, in der Gegend U Kinn und Hals liegen.

Nützliche Anwendungen dieſer Spiegel möchten ſich wohl kaum erdenken laſſen.

Einunddreißigſte Vorleſung.

Die Behauptung, das Licht gehe nach graden Linien fort, ſcheint uns eine ſo wohl begründete zu ſeyn, daß wir bei allen Gegenſtänden, die wir ſehen, vorausgeſetzt, daß ſie uns nicht im Spiegel erſcheinen, kaum einen Zweifel hegen, ob ſie anderswo, als in der Richtung liegen, welche der zu unſerm Auge gelangende Lichtſtrahl uns angiebt. Und gleichwohl leidet jene Behauptung noch viele Ausnahmen, die uns oft genug kenntlich werden und zu unzähligen Täuſchungen oder unrichtigen Schlüſſen Anlaß geben. Die Brechung der Lichtſtrahlen iſt eine der vorzüglichſten Urſachen dieſer Abweichung des Lichtſtrahles von der graden Richtung.

Brechung der Lichtſtrahlen.

Wenn ich (VII. Fig. 8) auf dem Boden des Gefäßes ADCB einen Punkt E bezeichne, und nun mein Auge in O ſo ſtelle, daß ich dieſen Punkt grade noch an dem Rande B vorbei ſehe, ſo iſt, wenn das Gefäß leer, das heißt, bloß mit Luft gefüllt iſt, kein Zweifel, daß die von E über B nach meinem Auge O gezogne Linie eine grade Linie ſeyn muß. Wir ſagen hier mit vollem Rechte, der von E ausgehende, zum Auge O gelangende Lichtſtrahl kömmt, weil er immer in demſelben Stoffe oder Körper, in der Luft, fortgeht, in grader Linie zum Auge, und da wir ihn als unmittelbar an B vorbeigehend erkennen, ſo iſt EBO grade. Aber wenn wir nun Waſſer eingießen und das Gefäß bis an GH füllen, während das Auge unverrückt in O bleibt, ſo ſcheint E über den Rand hervorzuſteigen und ein Punkt F, der vorher vom Rande bedeckt war, wird ſichtbar. Sucht man den Punkt m auf, wo der von E zum Auge gelangende Strahl aus dem Waſſer hervordringt, ſo findet man ihn nicht mehr mit E und O in grader Linie; aber ein Gegenſtand (die Spitze eines Cirkels zum Beiſpiel), der die grade Linie mO verfolgt, verdeckt dem Auge den Punkt E, und eben das geſchieht, wenn dieſer Gegenſtand die grade Linie mE verfolgt, ſo daß wir mit Sicherheit ſchließen können, der zum Auge gelangende Lichtſtrahl ſetze von E bis m, ſo lange er im Waſſer bleibt, ſeinen Weg in grader Richtung fort, beim Hervortreten aus dem Waſſer aber gehe er in die veränderte Richtung mO über. Dieſe Aenderung der Richtung iſt aber das, was wir **Brechung** des Lichtſtrahles, **Refraction**, nennen.

Dieſe Brechung findet immer ſtatt, wenn der Lichtſtrahl aus einem durchſichtigen Körper in einen andern in einer ſchiefen Richtung gegen die Trennungsfläche übergeht, oder wenigſtens giebt es nur wenige Körper, die ein ſo genau gleiches Verhältniß gegen das Licht zeigen, daß der aus dem einen derſelben austretende und ohne Zwiſchenraum in den andern übergehende Strahl gänzlich ungebrochen bliebe. Ein ſenkrecht auf die Oberfläche fallender Licht-

ſtrahl behält dagegen ſeine Richtung auch in dem andern Körper, in welchen er eindringt. Die Brechung findet ſo ſtatt, daß der Lichtſtrahl, wenn er in einen dichteren Körper übergeht, tiefer eindringt, als es ſeiner vorigen Richtung angemeſſen iſt, ſtatt daß beim Eindringen in einen minder dichten Körper der Strahl eine geringere Neigung gegen die Oberfläche annimmt, als der grade Fortgang des Strahles es fordern würde. Doch dieſe Beſtimmungen ſind zu oberflächlich und müſſen um ſo mehr in ſtrengeren Ausdrücken angegeben werden, da ſie einem ſehr beſtimmten Geſetze unterworfen ſind.

Beſtimmung der Geſetze der Brechung.

Um dieſe Geſetze genau anzugeben, denken wir uns in dem Punkte A (VII. Fig. 9), wo der Lichtſtrahl B A die Trennungsfläche der beiden durchſichtigen Körper erreicht, die Senkrechte A C gegen dieſe Trennungsfläche D E oder das Einfallsloth errichtet. Befindet ſich nun unterhalb D E ein dichterer oder das Licht ſtärker brechender Körper, ſo wird, wie man ſich ausdrückt, der Lichtſtrahl bei ſeinem Eintritte in den ſtärker brechenden Körper gegen das Einfallsloth zu gebrochen, das heißt, der Winkel, welchen der in dieſen Körper übergegangene Lichtſtrahl A G mit der Senkrechten A H macht, iſt kleiner als der Winkel, den der Strahl B A mit A C machte. Bei dieſer Brechung bleibt jedoch der Lichtſtrahl A G in eben der Ebne, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallsloth lagen; er wird alſo nicht ſeitwärts abgelenkt, ſondern ſein Fortgang wird nur nach der mit A H parallelen Richtung verſtärkt; er wird zu einem tieferen Eindringen veranlaßt. In welchem Maaße dieſe Verkleinerung des Winkels H A G, der nämlich kleiner als B A C wird, ſtatt findet, das hängt von der eigenthümlichen Natur der brechenden Körper ab; aber es giebt ein vollkommen ſtrenges Geſetz, welches für einerlei Körper in Beziehung auf alle Strahlen, der Winkel B A C ſey größer oder kleiner, gültig iſt. Um dieſes Geſetz zuerſt durch ein Beiſpiel zu erläutern, dringe der Lichtſtrahl aus Luft in einen Glaskörper D G E ein, ſo iſt faſt genau, wenn man einen Kreis um A zieht, alſo A N = A L nimmt, die ſenkrecht auf C H gezogene N O zwei Drittel der ebenfalls auf C H ſenkrechten L M, und dieſes Verhältniß bleibt genau gleich bei allen Einfallswinkeln. Hat man alſo eine Glasart, bei welcher dieſes Brechungsverhältniß genau ſtatt findet, ſo iſt es ſehr leicht, für jeden einfallenden Strahl b a die Richtung des gebrochenen Strahles zu finden. Man errichtet nämlich in a, wo der Strahl die Oberfläche trifft, das Einfallsloth c a h, zieht um a als Mittelpunkt mit willkürlichem Halbmeſſer einen Kreis und in demſelben von dem Punkte l, wo der einfallende Strahl ihn ſchneidet, eine Linie l m auf das Einfallsloth ſenkrecht; man ſucht nun den Punkt n deſſelben Kreiſes, deſſen ſenkrechter Abſtand von c h zwei Drittel der l m iſt, n o = $^2/_3$ l m; durch dieſen Punkt n geht der gebrochene Strahl a g. Was hier für das Brechungsverhältniß 1 zu $^2/_3$ angegeben iſt, das findet auch bei andern Brechungsverhältniſſen auf ähnliche Weiſe ſtatt, ſo daß z. B. bei einem Glaſe,

wo das Brechungsverhältniß nicht 1 : ⅔, ſondern 1 zu 0,64 wäre, allemal n o 64 ſolche Theile, deren l m 100 enthält, haben würde, oder daß beim Waſſer, wo das Brechungsverhältniß eines aus Luft in Waſſer übergehenden Strahles wie 1 zu 0,77 oder wie 100 zu 77 iſt, n o 77 ſolche Theile hat, deren l m 100 enthält.

Das Geſetz der Brechung iſt alſo, daß nicht der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe macht, zu dem Winkel, den der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe macht, einerlei Verhältniß bei allen verſchiedenen Richtungen des einfallenden Strahles behält, ſondern dieſes immer gleiche Verhältniß findet zwiſchen den nach der vorigen Regel beſtimmten ſenkrechten Linien, die man die Sinus jener Winkel nennt, ſtatt. Wenn der Strahl B A nur einen kleinen Winkel mit dem Einfallslothe macht, ſo kann man beim Glaſe ungefähr ſagen, daß auch der Winkel H A G ſelbſt nach der Brechung zwei Drittel des Winkels B A C iſt, weil bei kleinen Winkeln das Verhältniß der Winkel ſelbſt nicht viel von dem Verhältniſſe jener Senkrechten L M, N O oder von dem Verhältniſſe der Sinus der Winkel verſchieden iſt; aber bei größern Winkeln darf man dieſe Verwechſelung nicht mehr gelten laſſen, ſondern muß das Verhältniß auf jene ſenkrechten Linien beziehen. Ich bemerke übrigens hier, daß man der einfachen Zahlen wegen das Brechungsverhältniß für Glas wie 1 zu ⅔ oder wie 1½ zu 1, und ebenſo für Waſſer wie 1 zu ¾ oder wie 1⅓ zu 1 anzugeben pflegt, obgleich dieſe Zahlen nicht ganz genau ſind; da wo eine ſtrenge Richtigkeit erforderlich iſt, muß man die genaueren Zahlen, die bei verſchiedenen Glasarten bedeutend verſchieden ſind, dafür ſetzen. Uebrigens wird die Richtung des aus dem ſtärker brechenden Körper, aus dem Glaſe zum Beiſpiel, hervorgehenden Strahles nach derſelben Regel, wie die Richtung des eindringenden Strahles, beſtimmt, nur iſt dann n und folglich n o bekannt, und man muß l auf dem Kreiſe ſo ſuchen, daß l m anderthalbmal ſo groß, als n o ſey. [1]

Ich muß hier ſogleich noch eine Bemerkung einſchalten, die ſich auf die Beſtimmung der Brechung bei krummen Oberflächen bezieht. Es iſt ziemlich von ſelbſt klar, daß wir einen kleinen Theil einer krummen Oberfläche zunächſt um den Punkt, wo der einfallende Strahl dieſe trifft, als eben anſehen können, und daß daher die dort berührende Ebne uns die Lage desjenigen ſehr kleinen Theiles der gekrümmten Fläche, auf den es hier ankömmt, darſtellt. Wir müſſen daher auch bei einer krummen Fläche das Einfallsloth, die Linie, welche an dieſer Stelle ſenkrecht gegen die Oberfläche iſt, ziehen und in Beziehung auf dieſes den Winkel nach der Brechung aus dem Einfallswinkel ganz ſo wie bei einer Ebne beſtimmen.

Mittel, die Stärke der Brechung zu beſtimmen.

Obgleich das Prisma uns das angemeſſenſte Mittel darbietet, um die Stärke der Brechung für verſchiedene Körper zu beſtimmen, ſo iſt es doch

1 Eine dabei in gewiſſen Fällen vorkommnde Schwierigkeit werde ich ſpäter erwähnen.

wohl nicht ganz unpaſſend, auch einige einfachere Mittel, deren man ſich in früheren Zeiten, um dieſen Zweck zu erreichen, bedient hat, hier anzuführen. Dieſe Mittel, wenn ſie auch keine vollkommene Genauigkeit geſtatten, ſind doch darum bemerkenswerth, weil ſie ſich ſo unmittelbar an die einfachſte Erſcheinung anſchließen und deshalb am beſten zur Erläuterung des bisher Angeführten dienen. — Stellen Sie ſich einen eingetheilten Kreis vor, um deſſen Mittelpunkt ſich zwei verſchiedene Regeln oder Lineale drehen laſſen; dieſer ſey bis an ſeinen Durchmeſſer A B (VII. Fig. 10) in Waſſer oder in diejenige Flüſſigkeit, deren Brechungsvermögen man prüfen will, eingetaucht, und nun das eine Lineal C D auf eine beſtimmte Zahl von Graden, zum Beiſpiel ſo geſtellt, daß der Winkel D C E 12 Grad beträgt. Bringt man nun das außer dem Waſſer befindliche Lineal C F in die Stellung, wobei man nach der Richtung F C den Punkt D ſieht, ſo beträgt G C F nicht 12, ſondern für Waſſer ungefähr 16 Grad, und für eine nicht allzugenaue Meſſung wird man ſelbſt dann, wenn die Winkel größer werden, den Winkel G C F ziemlich genau in eben dem Verhältniſſe größer finden. Hier bezeichnet D C den im Waſſer fortgehenden Strahl, C F den gebrochenen, aus dem Waſſer hervorgegangenen Strahl, und man würde die Ungleichheit der Brechung, daß nämlich das Verhältniß der Winkel oder ihrer Sinus bei Waſſer faſt wie 3 zu 4, bei Terpentinöl beinahe wie 2 zu 3 iſt, ſchon auf dieſe Weiſe wahrnehmen.

Ein andres Mittel iſt die Beobachtung des Schattens. Man läßt durch eine kleine Oeffnung einen Sonnenſtrahl (VII. Fig. 11) in ein dunkles Zimmer fallen, und beobachtet, indem er an der Spitze B der undurchſichtigen Wand A B vorbeigeht, wo er in C die Ebne A C erreicht. Hierauf ſtellt man an A B einen durchſichtigen Körper A D, z. B. einen Glaskörper, deſſen obere Seite mit A C parallel iſt, und beobachtet nun, daß der Lichtſtrahl nicht nach C, ſondern im Glaſe fortgehend nach E kömmt; hierin iſt wieder ein Mittel gegeben, um die Größe der Brechung zu finden, oder zu beſtimmen, wie der Winkel, welchen der Strahl B C in der Luft mit dem Einfallslothe machte, von demjenigen verſchieden iſt, den der gebrochene Strahl B E mit eben dem Einfallslothe macht. Durch ähnliche Verſuche iſt das Geſetz, daß die Sinus jener Winkel bei allen Einfallswinkeln einerlei Verhältniß behalten, wenn die brechende Materie dieſelbe bleibt, gefunden worden.

Einzelne Erſcheinungen, die durch Refraction bewirkt werden.

Eine große Menge von Erſcheinungen, die ſich zum Theil uns täglich darbieten, erhalten ſchon aus dem bisher Angeführten ihre vollſtändige Erklärung, und auf einige derſelben werde ich Sie wenigſtens aufmerkſam machen.

Wenn man einen graden Stab in geneigter Richtung in eine ebne Waſſerfläche taucht, ſo erſcheint er wie gebrochen, als ob der Theil im Waſſer mit dem Theile außer dem Waſſer einen Winkel machte. Denn wenn das Auge von der Seite her gegen den Stab ſieht, ſo erſcheinen alle im Waſſer befindlichen Theile des Stabes höher hinauf gerückt, und der untergetauchte Theil

iſt daher anſcheinend weniger, als der nicht eingetauchte Theil, gegen die Oberfläche des Waſſers geneigt. Selbſt wenn das Auge ſich in der durch die Richtung des Stabes auf die Oberfläche des Waſſers ſenkrecht gelegten Ebne befindet, gilt eben dieſe Betrachtung. Der vom Endpunkte A (VII. Fig. 12) kommende Lichtſtrahl gelangt nämlich in der Richtung B O zum Auge O, weil er in B gebrochen wird, und da eben dieß für alle übrigen Punkte D gilt, ſo ſehen wir den Stab ſo verkürzt, als ob er ſich in der Richtung H d a befände. Auch die Täuſchung, als ob der Boden des Gefäßes höher rücke, wenn man nach und nach mehr Waſſer hineingießt, läßt ſich nun vollkommen erklären. Könnten wir (VII. Fig. 13) unſern Blick auf den Boden A des Gefäßes ſo beſchränken, daß wir nur den einzigen Punkt A ins Auge faßten, von welchem der ſenkrecht die Oberfläche D E treffende Strahl A B O in das Auge O kömmt, ſo würden wir nichts bemerken, das eine Brechung verriethe; denn dieſer ſenkrecht auf die brechende Ebne D E treffende Strahl geht ungebrochen durch. Aber da unſer Blick immer noch mehr Punkte mit umfaßt, die etwas ſeitwärts liegen, ſo bemerken wir, daß der gebrochene Strahl O G unter einem etwas größern Winkel gegen A O geneigt iſt, als es, ehe Waſſer eingegoſſen ward, für den ungebrochenen Strahl F O der Fall war; der Raum A F erſcheint uns daher unter eben dem Sehewinkel, als ob er bis an a f heraufgerückt wäre, und unſer Auge bemerkt dieß ſchon bei Punkten, die auch nur wenig von der Senkrechten A O entfernt liegen. Da nun bei der geringſten Bewegung des Auges der Punkt A ſelbſt ſo viel ſeitwärts zu rücken ſcheint, als ob er in a läge, ſo iſt die Täuſchung, als ob der Boden höher gerückt wäre, vollſtändig.

Eine andre Täuſchung bietet ſich uns darin dar, daß bei ſchwankender Oberfläche des Waſſers ſich die Gegenſtände auf dem Boden des Waſſers oder alle die, welche ſich unter dem Waſſer befinden, zu bewegen ſcheinen. Es iſt Ihnen bekannt, daß wir einen Körper für bewegt halten, wenn die gegen ihn hin gezogene Richtungslinie eine andre Lage annimmt, oder, wie wir es hier ausdrücken müſſen, wenn der von ihm zu unſerm Auge gelangende Lichtſtrahl in einer veränderten Richtung unſer Auge erreicht; aber dieſe Richtung des zu uns gelangenden Lichtſtrahles wird gewiß geändert, wenn die Oberfläche des Flüſſigen bei ihren Schwankungen eine verſchiedene Lage annimmt. Ich will dieß nur für den (VII. Fig. 14) von A ausgehenden Strahl zeigen, der, ſo lange die Oberfläche horizontal bleibt, ungebrochen nach O zum Auge gelangt, weil er die Oberfläche ſenkrecht trifft; wenn die Oberfläche die Lage D E annimmt, ſo gelangt dieſer Strahl A B nicht mehr zum Auge, ſondern wird vom Einfallslothe B G abwärts in der Luft nach P gebrochen und ein andrer Strahl A H kömmt, bei H gebrochen, zum Auge, ſo daß dieſes den Punkt A nun ſo ſieht, als ob er nach a fortgerückt wäre. Bei den abwechſelnden Schwankungen der Oberfläche ſcheint alſo A von ſeiner wahren Lage bald nach der einen bald nach der andern Seite fortzurücken.

Hieraus kann ſogar eine ſcheinbare Verdoppelung eines und deſſelben

Punktes entſtehen. Denn wenn bei einer Wellenbewegung die Oberfläche in der Gegend um B horizontal, um H dagegen ſo geneigt iſt, wie die Linie DE angiebt, ſo kommen in dieſem Augenblicke zwei von A ausgehende Lichtſtrahlen ins Auge, AB ungebrochen und AH gebrochen, und das Auge ſieht den Gegenſtand doppelt. Eine ähnliche Verdoppelung oder Vervielfachung der Bilder findet auch bei der Spiegelung in Wellen ſtatt, und da beide Erſcheinungen, die durch Brechung ſowohl als die durch Spiegelung hervorgebrachte, ein Mittel geben, um die größte Neigung zu beſtimmen, welche die Wellenoberfläche irgendwo annimmt, ſo iſt es wohl nicht unzweckmäßig, dabei noch einen Augenblick zu verweilen. Wenn die Oberfläche DE (VII. Fig. 15) horizontal iſt, ſo ſieht das Auge O den leuchtenden Punkt A auf die bekannte Weiſe in B geſpiegelt; aber wenn die Oberfläche die Lage FG annimmt, ſo rückt der Reflexionspunkt nach C hin und kömmt alſo dem Auge viel näher, und auch hier iſt es nur nöthig, daß ein kleiner Theil der Wellenoberfläche in C dieſe Lage habe, ſo erſcheint in C ein zweites Bild, der Punkt A wird alſo zugleich in a und a′ geſehen. Wegen der ſehr mannigfaltigen Lage der einzelnen Theile der Wellenoberfläche zeigen ſich dem Auge gewöhnlich noch mehrere Bilder und die ganze Wellenfläche ſcheint uns bis auf einen weiten Umfang hinaus einen verworrenen Widerſchein der Sonne zu geben; aber die Beobachtung der Grenze, bis zu welcher dieſer Widerſchein ſich erſtreckt, giebt die am meiſten geneigte Richtung der Oberfläche an, und giebt uns alſo eine Beſtimmung über die Form der Wellen, nämlich wie ſtark der am meiſten geneigte Theil der Oberfläche von der horizontalen Ebne abweicht. [1]

Endlich mag hier noch ein kleines Experiment, wobei ſich gleichfalls eine Verdoppelung der Bilder zeigt, erwähnt werden. Wenn man zwei Stecknadeln in paralleler Richtung in einem Bretchen feſtſteckt und nun dieſes Bretchen ſo ins Waſſer taucht, daß die obere Nadel das Waſſer berührt, die untere aber eingetaucht iſt, ſo ſieht man, indem man das Auge ſo ſtellt, daß die untere Nadel von der oberen verdeckt ſeyn ſollte, die untere verdoppelt. Der Verſuch gelingt jedoch nur, wenn die obere Nadel benetzt iſt und das Waſſer vermöge der Anziehung neben ihr etwas gehoben iſt. In dieſem Falle wird der von der Nadel B ſeitwärts gehende Strahl BC in der gekrümmten Oberfläche, die in C eine gegen CD ſenkrechte Richtung hat (VII. Fig. 16), gebrochen, ſo daß er nicht grade nach E, ſondern gebrochen nach O fortgeht; das Auge in O ſieht daher die Nadel in der Richtung OC, als ob ſie in b läge; aus ganz gleichen Gründen erſcheint aber auch an der andern Seite von B ein Bild der Nadel, und dieſe erſcheint mithin doppelt, obgleich ſie ohne Hülfe dieſer gekrümmten Oberflächen durch die Nadel A verdeckt ſeyn würde. Eine ähnliche Vervielfältigung durch Brechung findet bei den ſogenannten Rautengläſern ſtatt. Jede der oberen Flächen, welche die vieleckige Oberfläche des Glaſes bilden, lenkt die Lichtſtrahlen eines und deſſelben Gegenſtandes nach

[1] Spooner, der dieſes Wellenbild Kümatage nennt, findet, daß die Wellen des nur mäßig aufgeregten Meeres doch eine Neigung der Oberfläche, die bis auf 25 Grade geht, darbieten.

dem Auge zu, ſo daß man denſelben Gegenſtand in vielen verſchiedenen Richtungen zugleich und alſo vervielfältigt, übrigens aber ungeändert erblickt.

Weg des Lichtſtrahls, wenn er durch verſchiedene Körper geht, deren Trennungsflächen alle parallel ſind.

Ich habe bisher nur von dem Brechungsverhältniſſe, das beim Uebergange aus Luft in irgend einen andern durchſichtigen Körper ſtatt findet, geredet, aber wenn man dieſes für zwei Körper kennt, ſo läßt ſich auch auf die Brechung des von einem dieſer Körper in den andern übergehenden Strahles ſchließen. Bleiben wir bei den einfachen Zahlen 1 zu $^3/_4$ für Waſſer, 1 zu $^2/_3$ für Glas ſtehen, ſo zeigt die Erfahrung, daß das Brechungsverhältniß beim Uebergange aus Waſſer in Glas wie $^3/_4$ zu $^2/_3$ oder, was eben daſſelbe iſt, wie 9 zu 8 oder wie 1 zu $^8/_9$ ſtatt findet. Theoretiſche Betrachtungen, die ich hier noch nicht anführen kann, laſſen ſchließen, daß es ſo ſeyn muß.

Nach dieſem Geſetze läßt ſich nun zuerſt für parallele Oberflächen der ganze Weg des Strahles zeichnen. Es ſey (VII. Fig. 7) A B C D Glas, in welches der Strahl E F eintritt, ſo muß $NO = {}^2/_3\, LM$ ſeyn, um die richtige Richtung des Strahles F G im Glaſe zu erhalten. Bei G trete der Strahl in Waſſer über, ſo muß $no = {}^9/_8\, lm$ ſeyn, und G H iſt dann der richtig gezeichnete Strahl. Bei H trete der Strahl durch die Ebene P Q wieder in die Luft hervor, ſo iſt $n'o' = {}^4/_3 . l'm'$, und es läßt ſich nun leicht zeigen, daß, wenn alle Trennungsflächen parallel waren, der wieder in die Luft hervorgegangene Strahl eine mit dem einfallenden Strahle parallele Richtung erlangt hat.[1] Allemal alſo wird der durch eine Folge von Körpern gegangene Strahl, wenn alle Trennungsflächen parallel waren, ſeiner anfänglichen Richtung parallel, wenn er wieder in dasjenige brechende Mittel, in dieſelbe Art von Körper gelangt, aus welcher er in jene Schichten übergegangen war.

Wenn der Lichtſtrahl durch einen dünnen, von parallelen Ebnen begrenz en brechenden Körper geht, ſo bemerken wir die Brechung faſt gar nicht, weil die geringe Abweichung der Linie C D (VII. Fig. 18) von der A B in dieſem Falle, wenigſtens dem nicht mit meſſenden Werkzeugen ausgeſtatteten Auge, nicht merklich wird. Bei großer Dicke einer Glasſcheibe bemerken wir dagegen allerdings, daß der Gegenſtand uns in einer veränderten Stellung erſcheint, indem bei einer ſolchen Dicke, wie der Körper bei H G hat, die Richtung H I, obgleich parallel mit F G, auf einen andern Punkt, als auf F, wo der leuchtende Punkt ſich befindet, hinweiſt.

[1] Wenn ich nämlich alle jene Kreiſe gleich zeichne, ſo iſt
$$n'o' = {}^4/_3\, l'm' = {}^4/_3\, no,$$
aber $no = {}^9/_8 . lm = {}^9/_8\, NO$,
alſo $n'o' = {}^3/_2\, NO = LM$.

Brechung im Prisma. Anwendung deſſelben, um das Brechungsverhältniß zu finden.

Um die Brechung deutlicher zu beobachten und ihre Größe abzumeſſen, dient, wie ich ſchon früher obenhin erwähnt habe, das Prisma. Gewöhnlich bedient man ſich des dreiſeitigen Prisma's, eines Körpers, deſſen Grundflächen parallele Dreiecke ſind, und deſſen Seitenlinien unter einander parallel und gewöhnlich ſenkrecht gegen die dreiſeitigen Grundflächen ſind; indeß kommt es nur darauf an, daß zwei Seitenflächen unter einem nicht zu kleinen Winkel gegen einander geneigt ſind; ſtatt der dritten Seitenfläche könnten zwei oder mehr Seitenflächen da ſeyn. Das Prisma wird ſo gehalten, daß der Lichtſtrahl ziemlich nahe ſenkrecht gegen die des Prisma's Länge darſtellenden Ecklinien iſt, und ich habe daher nur nöthig, den dreiſeitigen Querſchnitt des Prisma's ZXY zu zeichnen. Fällt nun hier ein Lichtſtrahl in der Richtung AB (VII. Fig. 19) auf, ſo wird er innerhalb des dichteren Körpers nach BC gebrochen fortgehen und in C abermals gebrochen die Richtung CD annehmen, ſo daß ein Auge in D den Gegenſtand A in der Richtung DE, anſcheinend weit von ſeinem Orte weggerückt, ſieht. Wenn das Prisma von einem Glaſe iſt, bei dem das Brechungsverhältniß 1 zu $^2/_3$ ſtatt findet, ſo zeichnet man den Weg des Lichtſtrahles genau, wenn man um B einen Kreis zeichnet und die Senkrechte LM auf das Einfallsloth OBE zieht, dann aber NO = $^2/_3$ LM nimmt, um die Richtung des Strahles BC zu beſtimmen. Ebenſo zeichnet man wieder in C das Einfallsloth nl und den Kreis, in welchem nun lm = $^3/_2$ no genommen wird. Es erhellt hier leicht, daß die Größe der durch das Prisma beobachteten Brechung bei gleichem Einfallswinkel von dem Winkel Z, den man den *brechenden Winkel* des Prisma's nennt, abhängt, indem ſie gering iſt, wenn Z eine ſehr geringe Größe hat. Aber auch ein zweites Geſetz läßt ſich leicht überſehen, nämlich, daß die geſammte Ablenkung des Strahles für einen beſtimmten Winkel Z, das heißt, wenn man immer daſſelbe Prisma anwendet, dann am kleinſten wird, wenn der im Innern des Prisma's fortgehende Strahl BC (VII. Fig. 20) ein gleichſchenkliges Dreieck, deſſen Seiten ZB und ZC gleich ſind, abſchneidet. In dieſem Falle nämlich ſind offenbar die Brechungen bei B und C gleich, der Wenkel, den BC mit AB macht, iſt ebenſo groß als der, den BC mit CD bildet. Man kann nun ſich zwei wenig von AB abweichende Lichtſtrahlen aB und a'B denken, die grade ſo gewählt ſind, daß der eine cd nach der Brechung ebenſo geneigt gegen die zweite Fläche ſey, als der zweite a'B gegen die erſte Fläche; dieſe beiden Strahlen erleiden, obgleich ſie an verſchiednen Seiten von AB liegen, dennoch eine gleiche geſammte Brechung, indem aB in der erſten Fläche mehr als AB, aber in der zweiten Fläche weniger als AB gebrochen iſt, und für a'B das Umgekehrte genau in eben dem Maaße ſtatt findet. Der Fall, wo BC gleiche Winkel mit ZB, ZC macht, iſt alſo ein ſolcher, von welchem an, man mag von dem Strahle AB zu aB oder zu a'B übergehen, die Aenderung der geſammten Brechung dieſelbe iſt; aber bei der Vergrößerung des Winkels, den aB mit dem Einfallslothe

macht, beträgt die Zunahme der Brechung mehr, als die Verminderung der Brechung bei der Verkleinerung des Winkels, den cd mit dem Einfallslothe macht, und daher iſt die Richtung cd mehr von der Richtung aB verſchieden, als CD von AB verſchieden war, und eben das gilt aus denſelben Gründen für den Strahl a′Bc′d′, der auch mehr als ABCD gebrochen wird.[1]

Ich glaubte bei dieſem Falle der kleinſten Brechung etwas länger verweilen zu müſſen, theils weil wir in der Folge Erſcheinungen kennen lernen werden, die ſich auf die Kenntniß dieſes Falles beziehen, theils weil überhaupt die nähere Erwägung ſolcher Fälle, wo ein Größtes oder Kleinſtes hervorgeht, ſchon an und für ſich eine Merkwürdigkeit darbietet. Wenn man die auf das Prisma einfallenden Strahlen AB (VII. Fig. 20) alle Winkel mit der Ebne BZ durchlaufen läßt, ſo erhellt aus jeder Zeichnung, die den vorhin erwähnten Regeln gemäß ausgeführt wird, daß der unter einem kleinen Neigungswinkel gegen die Ebne oder unter einem großen Einfallswinkel gegen das Neigungsloth einfallende Strahl bei B ſtark, bei C wenig gebrochen wird; nimmt der Winkel ABG zu, ſo werden beide Brechungen immer mehr gleich, endlich iſt dieſe Gleichheit erreicht, und bei fortgehender Vergrößerung des Winkels ABG kommen nun die vorigen Fälle in umgekehrter Ordnung wieder, weil jetzt an der andern Seitenfläche das ſtatt findet, was vorhin an der erſten Seitenfläche eintrat. Ueberall, wo ein ſolcher Uebergang durch einen Mittelfall zu eben den in umgekehrter Ordnung wiederkommenden Fällen ſtatt findet, da iſt dieſer Mittelfall ein Fall des Größten oder Kleinſten, und eine nähere Betrachtung der Umſtände entſcheidet meiſtens ziemlich leicht, welches von beiden, ob ein Größtes oder Kleinſtes, hier eintritt.

Um Ihnen aber nun für dieſe theoretiſche Betrachtung, die vielleicht etwas trocken iſt, auch eine practiſche Erläuterung zu geben, bitte ich Sie, das Glasprisma in die Hand zu nehmen und, indem Sie hindurch ſehen, den brechenden Winkel nach unten zu halten; dann müſſen Sie das Auge ſtark unterwärts richten, um Gegenſtände, die ebenſo hoch als das Auge liegen, zu ſehen. Drehen Sie nun das Prisma ſo, daß der brechende Winkel bald unten, bald etwas hinaufgerückt iſt, ſo ſehen Sie einen einmal ins Auge gefaßten Punkt bald hinauf, bald wieder herab rücken, und wenn er ſeine höchſte ſcheinbare Stellung hat, das iſt, wenn er am wenigſten von ſeinem wahren Orte entfernt ſcheint, wenn die geſammte Brechung am kleinſten iſt, ſo können Sie das Prisma ſchon erheblich drehen, ohne daß eine Aenderung in der ſcheinbaren Richtung für dieſen Punkt auffallend wird. Dieſes iſt dann eben die Stellung, die wir vorhin betrachteten, die man daher leicht mit ziemlicher Genauigkeit auffindet, wenn man auf einen

[1] Ein Zahlenbeiſpiel wird dieß vollkommen erläutern. Das Prisma habe bei Z einen Winkel von 60 Graden, ſo iſt die geſammte Brechung am kleinſten, wenn BC mit BZ und CZ Winkel von 60 Graden macht, aber damit das geſchehe, muß $ABG = DCH = 41^\circ\,25'$ ſeyn; macht dagegen aB einen Winkel $aBG = 40^\circ\,25'$, ſo macht Bc mit BZ einen Winkel von 59° 30′, alſo Bc mit cZ einen Winkel von 60° 30′, und der gebrochene Strahl cd iſt gegen die Seite cZ unter einem Winkel von 42° 23′ geneigt, das iſt, während aB von AB um 1 Grad abweicht, hat CD ſeine Richtung cd nur um 58 Minuten geändert, und dieſe letztere Aenderung gleicht die erſtere nicht ganz aus, ſondern die Brechung iſt vergrößert. Wäre $a'BG = 42^\circ\,25'$, ſo würde dagegen $d'c'H = 40^\circ\,23'$, und die Ablenkung, die für den Fall der kleinſten Brechung 37° 10′ betrug, macht hier 37° 12′.

beſtimmten Punkt achtet und bei der langſamen Drehung des Prisma's die Stellung wahrnimmt, wo das ſcheinbare Steigen jenes Punktes in ein Herabgehen übergeht.

Das Prisma bietet uns eine Erſcheinung dar, die gewöhnlich am allermeiſten durch ihre große Schönheit unſer Auge auf ſich zieht, die Erſcheinung der Farben; aber Sie müſſen mir erlauben, von dieſer jetzt noch nicht zu reden, ſondern Sie nur auf einen Gebrauch des Prisma's, wobei freilich Farben hervorgehen, aufmerkſam zu machen, der eine anders angeordnete Wiederholung des vorigen Verſuches iſt. Wenn man einen Sonnenſtrahl durch eine kleine Oeffnung in ein dunkles Zimmer fallen läßt und dieſen Lichtſtrahl mit einem Prisma auffängt, ſo ſieht man, daß der hervorgehende Strahl an der andern Seite des Prisma's eine ganz veränderte Richtung hat, und wenn man das Prisma dreht, ſo findet man leicht die Stellung, in welcher die hervorgebrachte Ablenkung von der urſprünglichen Richtung die geringſte iſt. Der erleuchtete Raum L rückt (VII. Fig. 21) bei der Drehung des Prisma's herauf oder herab; aber die tiefſte Stellung l erreicht er dann, wenn der im Innern des Prisma's fortgehende Lichtſtrahl die Seitenflächen unter gleichen Winkeln trifft, und wenn man dieſe Stellung des Prisma's erreicht hat, ſo kann man etwas weiter fort oder etwas zurück drehen, ohne die Lage des Bildes merklich zu ändern.

Dieſe Lage iſt auch für genaue Beſtimmung der Brechung die vortheilhafteſte, weil, wenn man den Winkel des Prisma's und die Ablenkung des Strahles kennt, wegen der Gleichheit beider Brechungen, die Größe der Brechung an jeder der beiden Flächen leicht beſtimmt wird. Die beſte Art, die Stärke der Brechung genau abzumeſſen, iſt die von Fraunhofer angewandte, wo eine ſehr entfernte Lampe, die ſo verdeckt war, daß nur durch eine kleine Oeffnung A (VII. Fig. 22) Licht auf das Prisma fiel, den Strahl A B auf dieſes ſandte, das Prisma aber nahe vor einem Fernrohre ſtand und ſo geſtellt wurde, daß der Lichtſtrahl im Fernrohr nach L zu ins Auge kam. Wenn nun dieſes Fernrohr auf einem eingetheilten Kreiſe befeſtigt iſt und man auf der Gradtheilung des Randes ſowohl die Richtung L M des gebrochenen Lichtſtrahles als die Richtung der Linie C A ablieſt, ſo läßt ſich, mit Hülfe der mehrere hundert Fuß betragenden Entfernung C A und der nur wenige Zolle betragenden Entfernung C B, die Größe der Brechung mit einer vollkommenen Genauigkeit finden. Dieſes Mittel, die Stärke der Brechung oder das Maaß des Brechungsverhältniſſes zu finden, iſt beſonders bei den verſchiedenen Glasarten wichtig, weil wir für ſie, um ſie zu guten Fernröhren anzuwenden, die Brechung in hohem Grade genau kennen müſſen; aber anwendbar iſt es bei allen Subſtanzen, die ſich zu Prismen von hinreichender Größe ſchleifen laſſen. Selbſt für flüſſige Körper iſt dieſe Methode brauchbar, nur muß man dann ein Prisma aus feſt verbundenen Glasſcheiben, um die Flüſſigkeit hineinzubringen, beſitzen, oder die in der Höhlung A B D C (VII. Fig. 23) enthaltene Flüſſigkeit mit zwei Glasplatten A B, C D, ſo daß keine Luft irgendwo übrig bleibt, verſchließen, und den Winkel (etwa mit Hülfe des Reflexions-Winkelmeſſers) abmeſſen, welchen

dieſe mit einander machen. Die den flüſſigen Körper einſchließenden Glasplatten müſſen an beiden Seiten genau parallel geſchliffen ſeyn, und ob ſie das ſind, erkennt man daran, daß der Gegenſtand, den man durch das bloß mit Luft gefüllte Prisma ſieht, in unveränderter Richtung, ebenſo als wenn das Prisma ganz weggelaſſen wird, erſcheint; wenn dieſes nicht der Fall iſt, ſo haben die Glasſcheiben ſelbſt eine etwas prismatiſche Form und man erhält daher bei der Beobachtung der Brechung durch das mit Flüſſigkeit gefüllte Prisma die Brechung durch dieſe etwas fehlerhaft. Um aber doch die Unſicherheit, die aus den Farben hervorgeht, welche ſich im Prisma zeigen, hier nicht ganz unerwähnt zu laſſen, muß ich noch die Bemerkung beifügen, daß man bei ſolchen Meſſungen immer auf eine und dieſelbe Farbe die Meſſung richten muß. Sie werden in der Folge ſehen, mit welcher Genauigkeit ſich die dann hervorgehenden Beſtimmungen angeben laſſen.

Selbſt die Luft, ſo fein ſie auch iſt, bringt dennoch eine Brechung des Lichtes hervor, deren Kenntniß beſonders dem Aſtronomen wichtig iſt, und auch dieſe Brechung läßt ſich mit Hülfe des hohlen Prisma's beſtimmen. Macht man nämlich die Höhlung AD ſo klein, daß beim Auspumpen der Luft aus derſelben kein Zerbrechen und keine bedeutende Krümmung der Glasſcheiben AB, CD zu befürchten iſt, ſo kann man durch einen ſeitwärts angebrachten Hahn mit Hülfe der Luftpumpe dieſen Raum luftleer machen; der bei CD eindringende Lichtſtrahl wird dann, indem er in verdünnte Luft oder in einen beinahe luftleeren Raum übergeht, ein wenig vom Einfallslothe abwärts, indem er aber bei AB wieder in die dichtere Luft gelangt, ein wenig gegen das Einfallsloth zu gebrochen, und ſo wenig dieß auch beträgt, ſo haben doch Biot und Arago aus ſolchen Verſuchen die Brechung bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in die Luft genau beſtimmt. Die Brechung in künſtlichen Luftarten haben eben dieſe Beobachter dadurch kennen gelehrt, daß ſie jenen mit Glasplatten geſchloſſenen Raum mit dieſen Luftarten füllten.

Zur Beſtimmung der Brechung in Körpern, die zu klein oder unregelmäßig geformt oder nicht vollkommen durchſichtig ſind, werden wir noch andre Mittel kennen lernen.

Zurückwerfung, die ſtatt der Brechung eintritt.

Eine ſehr merkwürdige Erſcheinung bietet ſich uns noch beim Gebrauche des Prisma's dar, die überraſchend ſchöne Spiegelung an der Hinterſeite des Prisma's; dieſe Erſcheinung iſt deſto merkwürdiger, da ſie in einem Umſtande, den die theoretiſche Ueberlegung uns kennen lehrt, ihren Grund hat. Ehe ich auf dieſen komme, muß ich noch einen andern Umſtand erwähnen, der zwar bei jener Zurückwerfung mitwirkend, aber doch nicht die Hauptſache iſt. Ein jeder durchſichtiger Körper wirft auch von ſeiner Hinterſeite Lichtſtrahlen zurück und gewährt uns alſo auch von ihr aus eine Spiegelung; dieſes bemerken wir auch an dem Prisma, indem, wenn dieſes zum Beiſpiel auf einem beſchriebenen Papiere liegt, die Schrift bei verſchiedenen Stellungen des Auges O (VII. Fig. 24)

durch das Priſma ſichtbar iſt, aber dennoch auch andre in der Gegend A liegende Gegenſtände ſich uns in einem matten Spiegelbilde in der Seite DE zeigen. Ein ſolches mattes Bild ſehen wir in DE bei allen nicht zu niedrigen Stellungen des Auges; aber wenn nun das Auge O immer mehr und mehr herab rückt, ſo gelangt es endlich zu einem Punkte, wo die unter DE liegende Schrift gar nicht mehr geſehen wird, die Gegenſtände bei A aber wie in der vollkommenſten Spiegelfläche mit dem vollſten Lichte abgebildet erſcheinen. Die Erſcheinung bietet ſich uns leicht und ungeſucht dar; aber ſie wird uns am verſtändlichſten, wenn wir auf theoretiſchem Wege zu ihr gelangen und daher eine andre Reihe von Betrachtungen, die Sie ſchon kennen gelernt haben, weiter verfolgen.

Die Regel, nach welcher wir den in das Glas eintretenden und den aus dem Glaſe austretenden Strahl durch Zeichnung zu beſtimmen gelernt haben, ſcheint zu dieſer Beſtimmung vollkommen ausreichend und iſt es auch wirklich bei dem Eintritte in einen dichteren Körper, aber nicht in allen Fällen bei dem Austritte aus demſelben. Um ſogleich bei dem Priſma zu bleiben, ſey AB (VII. Fig. 24) ein einfallender Strahl, der wenig von dem Einfallslothe BC abweicht; er geht mit geringer Brechung nach BG fort, und um ſeine Richtung beim Heraustreten zu finden, zeichnen wir den Kreis und nehmen das $1\frac{1}{2}$fache der LM, um einen Punkt des Kreiſes zu ſuchen, der ſo weit von dem Einfallslothe entfernt iſt und uns die Richtung des gebrochenen Strahles angeben ſollte; aber der Kreis hat gar keinen ſo weit als N entfernten Punkt, wenn $GN = \frac{3}{2}LM$ iſt, und ein ausfallender Strahl kann daher nach unſrer Regel nicht gezeichnet werden. Der Grund davon iſt auch leicht einzuſehen. Wäre der Strahl ſo wie aB eingefallen, ſo wäre er in der Richtung Bd nach d gekommen und es hätte ſich der Regel gemäß der ausfallende Strahl dq noch zeichnen laſſen; aber er hätte eine ſo wenig von der Ebne DE abweichende Richtung erhalten, daß man wohl einſieht, ein noch weniger als Bd gegen dieſe Ebne geneigter Strahl könne gar nicht mehr hervordringen. Dieſe Strahlen nun, die gebrochen nicht mehr hervordringen können, werden nicht bloß theilweiſe, ſondern ganz zurückgeworfen, und ein Auge in H ſieht den Gegenſtand A mit dem vollen Lichte, das nur der ſchönſte Spiegel gewähren kann, ſtatt daß andre Gegenſtände, deren meiſte Strahlen aus dem Glaſe hervorgehend nach q gelangen, nur vermittelſt der wenigen Strahlen, die allemal reflectirt werden, einem in der Gegend O ſtehenden Auge ſichtbar werden.

Wenn man umgekehrt den Weg der von Q oder p ausgehenden Lichtſtrahlen verfolgt, ſo überzeugt man ſich leicht, daß ein Auge in A keinen dieſer Punkte ſehen kann; denn welchen von Q ausgehenden Lichtſtrahl, Qd oder Qd′ u. ſ. w. man nehmen mag, alle werden ſo gebrochen, daß ſie über A weggehen, keiner nach A, keiner alſo zu dem in A befindlichen Auge gelangt; dieſes Auge in A ſieht daher die unter DE liegende Schrift auf dem weißen Papiere, die bei unſerm Verſuche dieſen Platz einnahm, nicht mehr; aber Gegenſtände bei H erſcheinen mit vollem Lichte geſpiegelt. Dieſe Spiegelbilder ſind von ſo großem Glanze, weil mit dem wenigen Lichte, das ſonſt ſchon, als ein mattes Spiegelbild

darſtellend, reflectirt wurde, ſich nun alle die Strahlen verbinden, die ſonſt gebrochen hervorgingen, und deshalb ein geringerer Lichtverluſt als faſt in irgend einem andern Falle ſtatt findet.

Aber jener Verſuch, wobei die unter D E liegende Schrift unſichtbar wurde, wenn man dem Auge eine zu niedrige Stellung gab, läßt ſich noch auf eine zweite Weiſe wiederholen, die eine neue Ueberraſchung darbietet. Auf jene Schrift laſſe man einen mäßigen Tropfen Waſſer fallen und lege nun das Prisma wieder auf, ſo ſieht das Auge A an den benetzten Stellen die unten liegende Schrift, und die ſchöne Spiegelfläche, die in den unbenetzten Stellen ſich noch ebenſo zeigt, erſcheint an den benetzten Stellen durchlöchert. Der Grund iſt nicht ſchwer einzuſehen. Wenn der von Q ausgehende Strahl ſogleich bei Q in Waſſer eintritt und aus dem Waſſer bei d in Glas übergeht, ſo wird er nur wenig gebrochen und gelangt daher nicht nach a, ſondern nach A, das Auge A ſieht die in Q aufgezeichneten Buchſtaben; dagegen ſieht es nun die Gegenſtände bei H ſchlecht geſpiegelt, indem der von H kommende Lichtſtrahl H G bei G in das Waſſer eindringend hervorgeht, da die Brechung beim Uebergange in Waſſer nur fordert, daß der Sinus des Winkels nach der Brechung $^9/_8$ vom Sinus des Winkels vor der Brechung ſey, was den Strahl zwar nahe an G E bringt, aber doch zeigt, daß er allerdings in das Waſſer eindringt, alſo nicht zurückgeworfen wird.

Um nun dieſen Verſuch ganz zu benutzen, muß ich noch zweierlei beifügen. Erſtlich, nachdem der Waſſertropfen angebracht und dadurch die unten liegende Schrift dem Auge A ſichtbar geworden iſt, geben Sie dem Auge eine noch niedrigere Stellung, ſo tritt die vollkommene Spiegelung und das Unſichtbarwerden jener Schrift abermals ein, aus dem ſehr begreiflichen Grunde, weil bei ſehr weit vom Perpendikel abweichenden Richtungen des Lichtſtrahls ſelbſt die Vergrößerung des Sinus von 1 auf $^9/_8$ nicht mehr ſtatt findet. Zweitens, wenn man neben einander, aber getrennt, einen Waſſertropfen und einen Tropfen Terpentinöl anbringt, ſo muß man das Auge noch viel tiefer als für den Waſſertropfen herabbringen, damit das abermalige Verſchwinden der Buchſtaben bei Q für den Tropfen Oel eintrete, ja es kann das Prisma von einer Glasart ſeyn, wo dieſes zweite Verſchwinden beinahe gar nicht mehr in der Gegend, wo ſich das Terpentinöl befindet, hervorzubringen iſt. Dieſe Flüſſigkeit ſteht nämlich dem Glaſe in Rückſicht auf die Brechung viel näher als das Waſſer, und der von Q im Terpentinöl kommende Strahl geht daher beinahe durchaus ungebrochen in das Glas hinein, ſo daß auch in ſehr niedrigen Stellungen dennoch das Auge dieſe Lichtſtrahlen empfängt.

Camera lucida.

Eine Anwendung der von der Rückſeite des Prisma's bewirkten vollkommenen Reflexion giebt Wollaſton's Camera lucida. Ein vierſeitiges Prisma A B C D (VIII. Fig. 20), deſſen Winkel bei A = 90°, bei B und D = 68°, bei C = 134° ſind, empfängt die auf A B ungefähr ſenkrecht auffallenden Strahlen

SE, die ungebrochen nach F gelangen; iſt nun der Winkel EFB ungefähr 22°, ſo kann bei F der Strahl nicht hervordringen, ſondern wird vollſtändig nach G und dort, wo er unter demſelben Winkel auffällt, nach H reflectirt, ſo daß er die letzte Fläche AD wieder ſenkrecht verläßt. Wenn nun ein Auge bei H dieſen Strahl empfängt und zugleich bei D vorbeiſehend auf die Tafel I blickt, ſo erſcheint ihm der in S liegende Gegenſtand auf der Tafel I, und der Zeichner kann ſeine Umriſſe zeichnen. Auf ähnliche Art kann man das Prisma überall gebrauchen, wo man eines Spiegels zur Reflexion bedarf.

Beſtimmung der Stärke der Brechung bei unpolirten, unregelmäßigen durchſichtigen Körpern.

Zum Schluſſe dieſer Betrachtungen knüpfe ich hieran noch einen andern Verſuch. Sie wiſſen, daß die an ſich durchſichtigen Körper die Eigenſchaft haben, undurchſichtig zu werden, wenn man ihnen eine rauhe oder eine matt geſchliffene Oberfläche giebt. Dieß hat darin ſeinen Grund, weil die die Oberfläche treffenden Strahlen an dieſer aus unregelmäßigen Theilen zuſammengeſetzten Oberfläche ſo mannigfaltig gebrochen und zurückgeworfen werden, daß die Strahlen durchaus nicht regelmäßig zum Auge gelangen. Dieſe unregelmäßige Brechung hört auf, wenn der Körper von einer ebenſo ſtark brechenden Flüſſigkeit umgeben iſt, und die Erfahrung zeigt, daß alsdann auch die ſchwache Reflexion, die beim Uebergange des Lichtſtrahls aus Glas in Luft, und ſchon weit ſchwächer bei dem Uebergange aus Glas in Waſſer ſtatt findet, gänzlich aufhört; es kann uns daher nicht wundern, wenn wir ein in Waſſer getauchtes mattgeſchliffenes Glas ſeine Durchſichtigkeit einigermaßen wieder erlangen ſehen, und beim Eintauchen in Terpentinöl, welches die Lichtſtrahlen faſt ebenſo ſtark bricht als das Glas, die Durchſichtigkeit faſt völlig hergeſtellt finden.

Dieſe Erfahrung leitet auf ein Mittel, um die Brechung für diejenigen durchſichtigen Körper zu beſtimmen, die entweder nur in kleinen Stücken vorhanden ſind, oder deren Oberflächen unpolirt ſind. Findet man für dieſe eine Flüſſigkeit oder eine Miſchung von Flüſſigkeiten, die ihnen ihre volle Durchſichtigkeit giebt, ſo kann man ſicher ſeyn, daß die Flüſſigkeit das Licht ebenſo ſtark, als jene Körper, bricht. Brewſter, der dieſen ſo nahe liegenden Gedanken zuerſt öffentlich ausgeſprochen hat, bemerkt hiebei, daß hierin ein Mittel liege, um in ungeſchliffenen Edelſteinen die etwa vorhandenen Spalten und Unregelmäßigkeiten, die im Innern die Durchſichtigkeit hindern, zu entdecken. Denn da der Lichtſtrahl an der Oberfläche des in eine ſolche, gut gewählte Flüſſigkeit eingetauchten Minerals kein Hinderniß ſeines Fortganges findet, ſo ſieht man nun die im Innern ſich befindenden Spalten oder andern Unterbrechungen der gleichförmigen Bildung.

Zweiunddreißigſte Vorleſung.

Die Linſengläſer.

Wir machen einen ſo vielfachen Gebrauch von den kugelförmig geſchliffenen Gläſern, von den Gläſern nämlich, deren Oberflächen Theile von Kugeln ſind, daß ſie vor allem unſre Aufmerkſamkeit verdienen. Ich habe früher ſchon bemerkt, daß die Brechung an krummen Oberflächen ganz ſo wie an ebenen ſtatt findet, wenn nur das Einfallsloth richtig gezogen iſt; bei einer Kugelfläche iſt aber dieſes leicht zu beſtimmen, da hier diejenige Linie, welche durch der Kugel Mittelpunkt geht, ſenkrecht gegen die Oberfläche iſt. Es wäre demnach gar nicht ſchwer, für jeden Punkt der Kugeloberfläche den Weg des gebrochenen Lichtſtrahles zu finden; aber da der Zweck aller unſrer aus ſolchen Gläſern, welche man Linſengläſer, Glaslinſen, nennt, zuſammengeſetzten Inſtrumente nur in ſo fern, als ſie reine Bilder geben, erreicht wird, ſo wird die Zeichnung des Weges der Lichtſtrahlen noch bedeutend erleichtert. Unſre Gläſer nämlich ſind von nur kleinen Theilen der Kugelfläche begrenzt, und da die Bogen ADB, AEB, deren Mittelpunkte (VII. Fig. 25) in C, G liegen, nur wenige Grade umfaſſen und keine andern Lichtſtrahlen gebraucht werden, als ſolche, welche beinahe mit der Linie CG,, die man die Axe des Glaſes nennt, parallel einfallen, ſo kann man in einer Zeichnung den Winkeln ſelbſt, denjenigen Winkeln nämlich, die zwiſchen dem Einfallslothe und dem Strahle liegen, das immer gleiche Brechungsverhältniß geben, welches genau genommen nicht den Winkeln, ſondern ihren Sinus zukömmt.

Die Linſengläſer haben entweder die Wölbung nach auswärts gekehrt, wie es in Fig. 25 bei beiden Oberflächen der Fall iſt, oder die Kugelfläche bietet eine Höhlung dar; in jenem Falle heißt die Oberfläche convex, in dieſem Falle concav. Die Gläſer können nun an beiden Seiten convex oder nur an einer Seite convex ſeyn, während die zweite eben oder auch concav iſt; oder die Verbindung zweier concaven Oberflächen oder einer concaven und ebenen kann ſtatt finden, und hierauf beziehen ſich die Namen: convex-convex, plan-convex, concav-convex, concav-concav, plan-concav. Wir wollen zuerſt bei denen ſtehen bleiben, deren Oberflächen beide convex ſind.

Convexe Linſen.

Wenn man den Durchſchnitt eines ſolchen Glaſes (VII. Fig. 25) zeichnet und einen leuchtenden Punkt auf der durch beide Mittelpunkte C, G gezogenen graden Linie ziemlich entfernt annimmt, wenn man dann die Brechung an beiden Oberflächen den richtigen Geſetzen gemäß zeichnet, ſo findet man, daß die von einem ſolchen Punkte H vor dem Glaſe ausgehenden Strahlen ſich faſt genau in einem Punkte I hinter dem Glaſe vereinigen, daß ſie alſo dort ein Bild des Punktes H darſtellen, und wenn neben H andre Licht ausſtrahlende Punkte h liegen, ſo geben auch die von ihnen ausgehenden Strahlen ebenfalls Bilder

ſo daß in Ii ein wirkliches Bild des Gegenſtandes Hh erſcheinen muß. Dieſes Ergebniß einer mit hinreichender Genauigkeit ausgeführten Zeichnung lehrt uns auch der Verſuch kennen. Nehmen Sie ein Brennglas oder ein gewöhnliches Brillenglas von der Art, wie ältere, ſehr fernſichtige Perſonen es zum Leſen gebrauchen, und halten es parallel mit einer weißen Wand, während die Strahlen eines zehn oder mehr Fuß entfernten Lichtes darauf fallen, ſo werden Sie leicht die richtige Entfernung des Glaſes von der Wand treffen, um das umgekehrte Bild, eine kleine ſehr helle Lichtflamme an der Wand zu ſehen; nicht bloß die umgekehrte Lichtflamme, ſondern auch den erhellten Theil des Talg- oder Wachslichtes erkennt man deutlich. Wenn das Licht näher heran gerückt wird, ſo wird das Bild undeutlich, weil dann in der Gegend der Wand die Lichtſtrahlen, die von jedem einzelnen Punkte der Flamme ausgehen, ihren entfernter liegenden Vereinigungspunkt noch nicht erreicht haben, alſo einen runden Fleck anſtatt eines einzelnen Punktes erleuchten. Um auch hier ein deutliches Bild zu erhalten, muß man die Linſe etwas von der Wand entfernen, und ſo kann man es fortſetzen, bis das immer mehr heran gebrachte Licht dem Glaſe ebenſo nahe iſt, als dieſes dem entſtehenden Bilde an der Wand; dann ſind Bild und Gegenſtand gleich groß, und ein weiteres Heranrücken des Lichtes gegen die Wand geſtattet nun kein Bild mehr. Aber wenn man das Licht wieder weiter von der Wand entfernt und das Glas zugleich dem Lichte nähert, ſo erhält man ein Bild an der Wand, welches größer als das Licht iſt, und man überzeugt ſich bald, daß bei hinreichender Entfernung des Lichtes von der Wand zwei Stellungen des Glaſes ſtatt finden, die angemeſſen ſind, um ein Bild zu zeigen, eine Stellung der Wand nahe, wobei das Bild klein wird, und eine Stellung dem Lichte nahe, wobei das Bild vergrößert erſcheint; wenn das Licht der Wand ſo nahe ſteht, daß Bild und Gegenſtand gleich werden, ſo iſt die Grenze der Annäherung erreicht, und ſtatt der zwei Stellungen des Glaſes findet nur noch dieſe eine ſtatt.

Auf die übrigen Umſtände, welche ſich bei der Erſcheinung der Bilder darbieten, brauche ich Sie kaum aufmerkſam zu machen. Die Bilder ſind ſehr glänzend und ſehr ſtark erleuchtet, wenn ſie klein ſind, dagegen von mattem Lichte, wenn ſie groß ſind; offenbar deswegen, weil die ziemlich gleiche Menge Lichtſtrahlen, in jenem Falle in einem kleinen Raume vereinigt, dieſen Raum ſehr lebhaft erleuchtet. Wenn man die Linſe zur Hälfte verdeckt, ſo gelangen nur halb ſo viele Strahlen von jedem leuchtenden Punkte zur Linſe, das Bild kann alſo nur halb ſo hell ſeyn, muß übrigens aber ganz auf dieſelbe Art und ebenſo vollſtändig entſtehen. Auch andre Gegenſtände, zum Beiſpiel die Häuſer, die ſich in einiger Entfernung befinden, die Fenſter des Zimmers u. ſ. w., laſſen ſich am Tage, wenn die Gegenſtände gut erleuchtet ſind, ſo im Bilde darſtellen, und bringt man das Glas an die zum Einlaſſen eines Lichtſtrahles beſtimmte Oeffnung im finſtern Zimmer, ſo ſieht man auf einer gehörig geſtellten weißen Tafel alle vor dem Glaſe außerhalb liegenden Gegenſtände mit lebhaftem Lichte und mit allen natürlichen Farben. Je weiter dieſe Gegenſtände

entfernt ſind, deſto näher rückt das Bild dem Glaſe, jedoch ſo, daß es ſelbſt im äußerſten Falle nicht weiter, als bis zu der Annäherung, die man die Brennweite nennt, heranrückt. Dieſe Brennweite, die Entfernung, in welcher die Sonnenſtrahlen ſich ſammeln und mit einem lebhaften Bilde zugleich eine große Erhitzung, ein wirkliches Brennen hervorbringen, findet man nahe genug, wenn man auch nur von Gegenſtänden, die tauſend oder einige tauſend Fuß entfernt ſind, das Bild auffängt.

Die Brennweite läßt ſich übrigens ſehr leicht theoretiſch beſtimmen, und wenigſtens für einige Fälle kann ich auch hier, ohne über die Grenzen mathematiſcher Kenntniſſe hinauszugehen, die ich hier vorausſetzen darf, dieſe Brennweite finden lehren. Es ſey (VII. Fig. 26) ein plan-convexes Glas AB, auf deſſen ebne Fläche die Strahlen eines entfernten leuchtenden Punktes ſenkrecht auffallen, ſo gehen dieſe durch die Ebne AB ungebrochen ein, weil der ſenkrechte Strahl keine Brechung erleidet. Dieſes findet für alle Strahlen ſtatt, weil man ſie als parallel einfallend anſehen kann. An der zweiten Oberfläche aber werden die Strahlen vom Einfallslothe abwärts gebrochen, und zwar beim Glaſe ſo, daß, wenn ED der einfallende Strahl, CD das Einfallsloth iſt, FDG nach der Brechung anderthalbmal ſo groß iſt, als EDC vor der Brechung. Für Parallellinien ED, CG iſt $EDC = DCG$, und alſo am Dreiecke der äußere Winkel $GDF = \frac{3}{2} GCD$; damit iſt aber, bei der hier angenommenen Kleinheit der Winkel, verbunden, daß $CG = \frac{3}{2} DG$ oder, weil hier GH nur ſehr wenig von DG verſchieden iſt, HG doppelt ſo groß als CH iſt. Der Brennpunkt G liegt alſo doppelt ſo weit hinter dem Glaſe, als der Mittelpunkt C vor dem Glaſe, und in dieſem Brennpunkte vereinigen ſich diejenigen Strahlen am genaueſten, die nur wenig von der Axe CG entfernt einfallen; die entfernteren würden, wenn man dem Glaſe eine zu große Breite gäbe, ſich nicht genau in eben dem Punkte vereinigen und daher eine Erleuchtung in benachbarten Punkten, damit aber zugleich eine Undeutlichkeit des Bildes bewirken. Gäbe es neben dem erſten leuchtenden Punkte noch einen zweiten ebenſo entfernten, ſo würden von dieſem alle Strahlen auch in parallelen Richtungen ſo wie ab zum Glaſe gelangen und durch ihre Vereinigung in der Nähe des Brennpunktes in g ein Bild darſtellen. Bei allen Linſen kann man es hier ſo anſehen, als ob der durch die Mitte des Glaſes gehende Strahl ungebrochen wie abg hindurchginge, weil bei b und H die Flächen parallel ſind, und man begeht hiermit einen Fehler, der bei dünnen Linſen ſehr gering iſt. Ebenſo wie der zweite Punkt würden unzählige andre benachbarte Punkte eines entfernten Gegenſtandes bei Gg ihr Bild darſtellen, wodurch, wie ſchon die Betrachtung der erſten beiden Punkte zeigt, ein in jeder Beziehung umgekehrtes Bild des ganzen Gegenſtandes entſtehen muß.

Hätte man ſtatt der Glaslinſe eine Linſe von andrer Subſtanz angewandt, ſo würde das Verhältniß der Winkel ein anderes. Bei Waſſer, das in eine dünne Glashülle von eben der Geſtalt eingeſchloſſen wäre, oder beinahe auch bei einer plan-convexen Eislinſe würde $GDF = \frac{4}{3} GCD$ und $DG = \frac{3}{4} CG$,

alſo beinahe H G = $^3/_4$ C G ſeyn, das iſt, da läge der Brennpunkt G, wegen der viel ſchwächern Brechung, um 3 Halbmeſſer hinter dem Glaſe. Eine plan-convexe Diamantlinſe dagegen, wo das Brechungsverhältniß 1 zu $^5/_2$ iſt, giebt den Winkel F D G′ = $^5/_2$ D C G′ und C G′ = $^5/_2$ G′ D, oder C G′ = $^5/_2$ G′ H, ſo daß G′ H nur $^2/_3$ C H wird, oder C H drei ſolche Theile, C G′ fünf ſolche Theile enthält, deren zwei ſich in G′ H finden. Eine Diamantlinſe hat alſo eine ſehr kurze Brennweite.

Wenn die Linſe an beiden Seiten eine gleiche Convexität hat oder gleichſeitig iſt, ſo giebt — wenn es eine Glaslinſe iſt — ein Punkt H (VII. Fig. 25), der um den doppelten Halbmeſſer der Kugelfläche vor dem Glaſe liegt, ein Bild I ebenſo entfernt hinter dem Glaſe, indem dann der von H kommende Lichtſtrahl im Innern der Linſe mit der Axe parallel iſt. Die Brennweite eines ſolchen Glaſes iſt halb ſo groß oder dem Halbmeſſer der Kugelfläche gleich. In jedem andern Falle erhält man bei Glaslinſen die Brennweite, wenn man die Zahlen, welche die Halbmeſſer beider Linſen angeben, in einander multiplicirt und mit der halben Summe der Halbmeſſer dividirt, und dieſes iſt genau für Gläſer, deren Brechungsverhältniß 1 zu 1$^1/_2$ iſt.

Noch in einem zweiten Falle läßt ſich der Punkt, wo die Lichtſtrahlen geſammelt werden, leicht finden, nämlich wenn ein großer Glaskörper nur an ſeiner Vorderfläche ſphäriſch gerundet iſt und die Lichtſtrahlen ſich innerhalb des Glaſes vereinigen, ein Fall, der freilich auf dieſe Weiſe eben nicht vorkömmt. Hier wird, wenn C (VII. Fig. 27) der Mittelpunkt, E D der einfallende Strahl, D e deſſen grade Verlängerung iſt, der Winkel C D G = $^2/_3$ C D e, und weil C D e = A C D iſt, auch C G = $^2/_3$ G D oder faſt genau C G = $^2/_3$ G A, alſo der Punkt G, wo die ſeitwärts einfallenden Strahlen die Axe erreichen, dreimal ſo weit als C hinter dem Einfallspunkte A. Hieran knüpft ſich ziemlich leicht die eben angeführte allgemeine Beſtimmung für Gläſer, die an beiden Seiten convex ſind; aber da es hier nur meine Abſicht iſt, die Wege anzudeuten, die man verfolgen muß, um zu genauen Beſtimmungen zu gelangen, nicht aber die meſſenden oder rechnenden Beſtimmungen ſtreng in Zahlen nachzuweiſen, ſo breche ich dieſe geometriſche Betrachtung ab.

Die Gründe, worauf die Berechnung der Brennweite für Linſen, deren Geſtalt und Brechungskraft man kennt, beruht, laſſen zugleich auch überſehen, daß man umgekehrt die Brechungskraft aus der Brennweite kennen lernen kann, wenn die Geſtalt der Linſe bekannt iſt; indeß wird dazu eine ſehr ſcharfe Beſtimmung der Brennweite erfordert, die ſich bei Linſen von kleinen Halbmeſſern nur wenig ändert, wenn auch das Brechungsverhältniß erheblich anders iſt. Brewſter's Methode, die Brechung für weiche, halbdurchſichtige Subſtanzen zu finden, beruht hierauf, indem er zwiſchen zwei Gläſern, die nach Kugelflächen geſchliffen ſind, aber nur ſehr wenig Raum zwiſchen ſich laſſen, dem weichen Körper die Geſtalt einer durch die Gläſer beſtimmten Linſe giebt; die Brennweite oder die Lage des bei ſehr geringer Dicke jener Maſſe auch hier kenntlichen Bildes giebt die Brechungskraft an.

Wenn man die Lage des Brennpunktes kennt, und das als erwieſen anſieht, daß alle Lichtſtrahlen, die von irgend einem leuchtenden Punkte in der Nähe der Axe ausgehen und ſich über die ganze Linſe verbreiten, nach der Brechung durch einen allen gemeinſchaftlichen Vereinigungspunkt hindurchgehen, ſo iſt es nun leicht, auch genauer und allgemeiner, als es vorhin geſchah, Ort und Beſchaffenheit des Bildes, welches die Linſe von irgend einem Gegenſtande darſtellt, anzugeben. Sey c (X. Fig. 1) der Mittelpunkt der Linſe, f der Brennpunkt oder der Vereinigungspunkt aller Strahlen, die von einem ſehr entfernten Punkte in der Axe, alſo parallel mit derſelben einfallen, a b irgend ein Gegenſtand, ſo wird es unter den unzähligen Lichtſtrahlen, die von a aus nach der Linſe gehen, einen mit der Axe parallelen und einen nach dem Mittelpunkte c gerichteten geben und der Vereinigungspunkt dieſer beiden Strahlen muß auch zugleich der Vereinigungspunkt für die übrigen von demſelben Punkte ausgehenden ſeyn, er giebt alſo an, wo ſich im Bilde der Punkt a darſtellt. Der mit der Axe parallele Strahl a A muß durch den Brennpunkt f gehen, hat alſo nach der Brechung die Richtung A G; der nach dem Mittelpunkte c gerichtete geht ungebrochen, alſo in der Richtung a c p hindurch, und der Durchſchnittspunkt p beider Strahlen iſt der Ort des Punktes a im Bilde. Ebenſo findet man, daß der Punkt b ſich in o darſtellt, und o p zeigt alſo die Größe und Lage dieſes wirklichen umgekehrten Bildes, das ſich entweder auf einer Fläche auffangen oder aus der Gegend zwiſchen G und H unmittelbar mit den Augen wahrnehmen läßt. Rückt der Gegenſtand nach a′ b′, ſo bleibt der mit der Axe parallele Strahl in unſrer Zeichnung derſelbe, wird aber von dem durch die Mitte gehenden etwas ſpäter in r geſchnitten, und q r iſt das Bild für die zweite Stellung; s t iſt, wie die ganz ähnliche Conſtruction zeigt, das Bild für die dritte Stellung des Gegenſtandes in a″ b″. Auf dieſe Art rückt das wirkliche umgekehrte Bild weiter und weiter hinaus und vergrößert ſich mehr und mehr, je näher der Gegenſtand heranrückt; iſt er aber nur noch um die Brennweite c f′ entfernt, ſo werden jene beiden von a ausgehenden Strahlen, die wir zeichneten, nach der Brechung parallel, ihr Vereinigungspunkt iſt alſo unendlich weit entfernt, und deswegen liegt dann auch das wirkliche Bild in unendlicher Entfernung und iſt unendlich groß. Kommt nun der Gegenſtand dem Glaſe noch näher, ſo ſieht ein Beobachter, der ſich zwiſchen G und H befindet, hinter dem Glaſe ein ſcheinbares (virtuelles), aufrechtes Bild aus unendlicher Entfernung mehr und mehr heranrücken; denn iſt z. B. die Stellung des Gegenſtandes a‴ b‴, ſo ſchneiden ſich die beiden Strahlen A G und a‴ c nicht mehr rechts vom Glaſe, ſondern links, nachdem man ſie rückwärts verlängert hat, im Punkte u, und u v iſt der Ort und die Größe des aufrechten ſcheinbaren Bildes, das ſich dann darſtellt. Das Bild iſt nur ein ſcheinbares und kann nicht auf einer Fläche aufgefangen werden, weil die von a‴ ausgehenden Lichtſtrahlen nur alle eine ſolche Richtung annehmen, als ob ſie von u herkämen, keineswegs aber wirklich dieſen Punkt erreichen. Das ſcheinbare Bild nähert ſich deſto mehr, je näher der Gegenſtand dem Glaſe

kommt, endlich fällt es mit dem Gegenſtande ſelbſt zuſammen, wenn dieſer die Glasfläche berührt. Dieſen Vorgang, der ſich ſehr leicht mit jeder Linſe prüfen läßt, wenn man dieſelbe feſt aufſtellt und das Bild einer nach und nach angenäherten Lichtflamme auf einer beweglichen, immer paſſend geſtellten Fläche auffängt oder direct mit den Augen betrachtet, kann man noch unter folgende leicht aus der Figur abzuleitende Regeln bringen. Der Gegenſtand und ſein Bild bewegen ſich immer nach derſelben Seite und erſcheinen vom Mittelpunkte der Linſe aus betrachtet gleich groß; das Bild iſt ſcheinbar und aufrecht, wenn es ſich mit dem Gegenſtande an derſelben Seite der Linſe befindet, es iſt dagegen ein wirkliches, aber umgekehrtes, wenn Bild und Gegenſtand ſich auf verſchiedenen Seiten der Linſe befinden. Daß der früher beſchriebene Verſuch, wo das Bild immer auf derſelben ruhenden Fläche aufgefangen wurde, als ein ſpecieller Fall ſich aus dieſen allgemeinen Geſetzen erklärt, erhellt von ſelbſt.

Concave Linſen.

Bei concaven Gläſern findet keine wirkliche Vereinigung der Lichtſtrahlen ſtatt. Parallel mit der Axe einfallende Strahlen AD (VII. Fig. 28) werden hier ſowohl beim Eintritt als beim Austritt von der Axe abwärts gebrochen; denn beim Eintritt wird der Winkel ADI, den der ungebrochene Strahl mit dem Einfallslothe oder Halbmeſſer DI macht, verkleinert, FDi kleiner als ADI, alſo DF von der Axe abwärts gelenkt, und beim Austritte, wo FK das Einfallsloth iſt, bringt die Vergrößerung des Winkels, indem DF nicht nach L, ſondern nach G fortgeht, auch eine Entfernung von der Axe hervor. Eine genauere Betrachtung zeigt, daß alle Strahlen, die nahe bei der Axe und mit ihr parallel einfallen, eine ſolche Richtung annehmen, als ob ſie alle von einem vor dem Glaſe liegenden Punkte M ausgingen, den man hier den Zerſtreuungspunkt nennen kann, weil die ſich zerſtreuenden, divergirenden Strahlen zwar nicht wirklich von ihm herkommen, aber doch die Richtung haben, als ob ſie von ihm herkämen. Die Entfernung des Zerſtreuungspunktes kann man auf ganz ähnliche Art aus den Halbmeſſern der Kugelflächen, welche die Linſe begrenzen, herleiten, wie die Entfernung des Brennpunktes bei convexen Gläſern, und obgleich ſich dieſer Zerſtreuungspunkt nicht ſo kenntlich macht, ſo kann man ihn doch durch einen Verſuch nachweiſen. Man halte das concave Glas ſo, daß die Sonnenſtrahlen in der Richtung der Axe auffallen, bedecke es aber mit einem Papiere, das nur genau in der Mitte eine kleine Oeffnung und bei D eine andre kleine Oeffnung hat; dann zeigt ſich auf einer in NO gehaltenen weißen Tafel ein Punkt O in der Axe und ein Punkt in N erhellt, und wenn man die Tafel weiter entfernt, ſo rücken dieſe erleuchteten Punkte immer weiter aus einander nach n und o; dieſes findet ſo ſtatt, daß alle ſo gefundenen Punkte N, n, n′ in einer graden, durch den Zerſtreuungspunkt M gehenden Linie liegen.

Wenn wir für concave Linſen die Frage nach dem Orte und der Beſchaffenheit der Bilder ebenſo wie für die convexen zu beantworten ſuchen, ſo

ergiebt ſich Folgendes. Für jeden Punkt eines Gegenſtandes, der Licht zur Linſe ſendet, giebt es, wenn er nicht zu weit von der Axe entfernt iſt, einen ſolchen ſcheinbar gemeinſchaftlichen Ausgangspunkt aller gebrochenen Strahlen, d. h. die von einem Punkte ausgehenden Strahlen werden ſämmtlich ſo gebrochen, daß ſie faſt genau von einem einzigen, näher nach der Linſe zu liegenden Punkte auszugehen ſcheinen; es iſt alſo wieder nur nöthig, den Durchſchnitt zweier Strahlen deſſelben leuchtenden Punktes zu beſtimmen, um die Lage ſeines Bildes anzugeben. Sey c (X. Fig. 2) der Mittelpunkt der Linſe, f der Zerſtreuungspunkt für Strahlen, die der Axe parallel ſind, a b irgend ein Gegenſtand, ſo wird der mit der Axe parallele Strahl a A nach der Brechung die Richtung A G annehmen, als ob er von f herkäme, der Strahl ac wird ungebrochen hindurchgehen, und von dem Durchſchnittspunkte p beider Strahlen ſcheinen alſo ſämmtliche Lichtſtrahlen des Punktes a zu kommen. Ebenſo wird der Punkt o beſtimmt, von welchem ſämmtliche Strahlen des Punktes b auszugehen ſcheinen, und man wird alſo durch die Linſe hindurch ein ſcheinbares, aufrechtes Bild des Gegenſtandes erblicken, deſſen Lage und Größe durch op angegeben wird. Rückt derſelbe Gegenſtand nach a′b′, ſo liegt das ſcheinbare Bild in q r; kommt er dem Zerſtreuungspunkte nahe, nach a″b″, ſo liegt das Bild in s t, endlich am Glaſe ſelbſt fällt das Bild mit dem Gegenſtande zuſammen. Die frühern allgemeinen Regeln gelten, wie man leicht aus der Figur ſieht, auch hier. Gegenſtand und Bild erſcheinen aus dem Mittelpunkte des Glaſes gleich groß, ſie bewegen ſich nach gleicher Richtung, und das Bild iſt hier immer nur ſcheinbar und aufrecht, weil es immer an derſelben Seite mit dem Gegenſtande ſelbſt liegt. Für einen ſehr weit entfernten Gegenſtand liegt das Bild im Zerſtreuungspunkte und weiter kann es ſich nicht vom Glaſe entfernen.

Alle Linſen, ſogar die von einer convexen und einer concaven Fläche begrenzten, ſind entweder ſammelnde oder zerſtreuende, je nachdem die convexe oder concave Fläche ſtärker gekrümmt iſt; ſie bieten daher immer Erſcheinungen dar, die entweder mit den durch convexe oder mit den durch concave Linſen hervorgebrachten in der Hauptſache übereinſtimmen.

Das Auge.

Der Gebrauch der Linſengläſer iſt ein ſehr vielfacher, aber ehe ich angeben kann, wie ſie uns dienen, die Gegenſtände größer oder deutlicher zu ſehen, muß ich das wunderbare Organ, dem wir die Empfindung des Sehens verdanken, beſchreiben.

Wie dieſe Empfindung des Sehens hervorgebracht wird, das zu erklären iſt das Beſtreben der Naturlehre, und dieſes Beſtreben iſt, ſo weit eine ſolche Erklärung möglich iſt, in hohem Grade gelungen; aber unſre Erklärung kann nur ſo weit gehen, als das Körperliche reicht, und die wichtigſte Frage, wie denn jenes Bild auf zartem Grunde, das ſich ſo ſchön im Auge darſtellt, dem

Geiſte die Empfindung des Sehens gewähre, bleibt, wie alle ähnlichen, unbeantwortet.

Um die Wirkſamkeit des Auges zu Hervorbringung eines Bildes zu beweiſen, pflegt man wohl allein dabei ſtehen zu bleiben, daß wirklich im Auge ein linſenförmiger, durchſichtiger Körper vorhanden ſey, der alſo, einer Glaslinſe ganz ähnlich, ein Bild auf den den Boden des Auges bildenden Häuten hervorbringen muß. Dieſe Behauptung iſt allerdings im Weſentlichen richtig; aber das Auge enthält mehrere hinter einander liegende Feuchtigkeiten, auf welche alle man Rückſicht nehmen muß, um den Ort des im Auge entſtehenden Bildes richtig zu beſtimmen. Wenn wir das Auge von außen anſehen, ſo unterſcheiden wir das Weiße im Auge, als eine das Licht nicht durchlaſſende Haut, von dem Augenſterne, der in der Mitte ſchwarz und mit einer bläulichen, grauen oder braunen Einfaſſung umgeben iſt. Die anatomiſche Unterſuchung des Auges zeigt, daß wir hier durch die völlig durchſichtige Hornhaut F, hinter welcher in H ſich die wäſſerige Feuchtigkeit befindet (VII. Fig. 29), theils die Iris, die Regenbogenhaut G G ſehen, theils durch die Oeffnung dieſer Haut und durch die ſämmtlichen durchſichtigen Flüſſigkeiten den ſchwarzen Boden des Auges erblicken; wenn wir daher, wie es oft geſchieht, das Schwarze im Auge den Augenſtern nennen, ſo iſt das zwar inſofern nicht unrichtig, als ſogleich hinter dieſer Oeffnung die Cryſtalllinſe I, der wichtigſte Theil des Auges, liegt, aber jener ſchwarze Kreis ſelbſt iſt nur die Oeffnung in der Regenbogenhaut. Das Auge iſt alſo, ſofern wir es hier, in Beziehung auf die Hauptumſtände des Sehens, zu betrachten nöthig haben, vorn durch die kugelförmig gebildete Hornhaut F, hinten durch eine die ganze Höhlung E E bekleidende Nervenhaut (Netzhaut, Retina) begrenzt. In dieſer Höhlung befindet ſich zwiſchen der Hornhaut und der Linſe I die wäſſerige Feuchtigkeit, die das Licht ungefähr in eben dem Maaße wie Waſſer bricht, hinter der Linſe und bis an den Boden des Auges iſt der Raum mit der glasartigen, einem durchſichtigen Gallert gleichenden Flüſſigkeit ausgefüllt; die Linſe ſelbſt aber iſt ein conſiſtenter, durchſichtiger Körper, der an ſeiner vorderen Seite mit etwas flacherer, an der hintern mit etwas ſtärkerer Wölbung in der That eine Linſenform darſtellt und das Licht etwas ſtärker als die beiden an ihm anliegenden Feuchtigkeiten bricht.

Indem nun die Lichtſtrahlen auf die Hornhaut und durch ſie in die wäſſerige Feuchtigkeit gelangen, werden ſie gegen die Axe des Auges zu gebrochen, und zwar ſo, daß ſie etwa 15 Linien hinter der Hornhaut ein Bild ſehr entfernter Gegenſtände darſtellen würden, wenn nicht die Linſe ſie ſtärker bräche; beim Eintritt in die Linſe und beim Austritt aus derſelben werden ſie zu einer größern Convergenz gebracht, ſo daß ſie etwa 8 Linien hinter der Linſe, das iſt, etwa $11\frac{1}{2}$ Linien hinter der Hornhaut ſich zu einem Bilde vereinigen. Grade hier aber, und dieſes mit ſo großer Genauigkeit, als es die Abmeſſung der Krümmung der Hornhaut und der Linſe zu beſtimmen geſtattet, befindet ſich der mit der Nervenhaut oder Netzhaut bedeckte Boden des Auges, der

alſo dieſes Bild aufnimmt. Die von dem Sehenerven ausgehende Netzhaut im Auge muß alſo ohne Zweifel dadurch, daß ſie durch die auffallenden Lichtſtrahlen gereizt wird, der Seele die Vorſtellungen, die wir dem Geſichte zuſchreiben, zuführen. Daß jene optiſchen Bilder die äußere Urſache dieſer Vorſtellungen ſind, daran iſt kein Zweifel, weil die ganze Einrichtung des Auges beweiſt, daß die Darſtellung dieſes Bildes der Zweck der ganzen Anordnung des Organes iſt, weil ferner die künſtlichen Mittel, die dieſes Bild deutlich und beſtimmt machen, uns auch den Eindruck eines deutlichen Sehens gewähren, und weil Fehler des Auges, durch welche das Bild undeutlich wird, durch ſolche künſtliche Mittel unſchädlich gemacht werden können.

Das Auge iſt aber nicht nur ſeinen Hauptbeſtandtheilen nach zweckmäßig zur Bewirkung des Sehens eingerichtet, ſondern auch in der Bildung jedes Theiles und in der Anordnung der auf den Gang der Lichtſtrahlen nicht unmittelbare Beziehung habenden Theile läßt ſich eine große Zweckmäßigkeit faſt überall nachweiſen. Bei unſern Linſengläſern findet, wenn ſie einen zu großen Theil der Kugelfläche umfaſſen, kein genaues Zuſammentreffen der von einem Punkte ausgehenden Lichtſtrahlen in einem Punkte ſtatt; bei dem Auge ſcheint dieſes Zuſammentreffen theils dadurch, daß im Leben die Oberfläche der Linſe, vermuthlich auf eine hiezu angemeſſene Weiſe, etwas von der Kugelfläche abweicht, theils durch die Ungleichheit ihrer Schichten, die eine nicht genau gleiche Brechungskraft haben, bewirkt zu werden. Aber dieſes reine Bild des Gegenſtandes könnte, wie Sie wiſſen, nicht immer in derſelben Entfernung von der Cryſtalllinſe ſich darſtellen, ſondern müßte für entfernte Gegenſtände dieſer etwas näher liegen, für nähere Gegenſtände auf einem etwas entfernteren Grunde dargeſtellt werden; auch dafür iſt bei dem geſunden Auge geſorgt, indem das geſunde Auge fähig iſt, in ſehr kurzer Zeit eine ſolche Aenderung in der gegenſeitigen Lage ſeiner Theile zu bewirken, daß, wenn wir auf nahe Gegenſtände ſehen, das Bild der nahen, wenn wir auf entfernte Gegenſtände ſehen, das Bild der entfernten Gegenſtände deutlich auf der Netzhaut des Auges abgebildet wird. Daß dieß der Fall iſt, zeigt die Erfahrung; aber da das Auge während des Lebens in ſeinem Innern nicht beobachtet werden kann, ſo läßt ſich nicht wohl entſcheiden, worin dieſe Veränderung beſteht. Nach einigen Phyſiologen muß man der Linſe, obwohl ſie nicht mit Muskeln in directer Verbindung ſteht, doch eine gewiſſe Beweglichkeit, die durch die umgebenden Theile vermittelt wird, zuſchreiben; nach andern beruht dieſe ſogenannte Accommodation des Auges auf der verſchiedenen Brechungskraft der einzelnen Schichten der Linſe. Bei den innern Schichten iſt nämlich dieſe Brechungskraft ſtärker als bei den äußern, und durch Verengung der Pupille könnte alſo bewirkt werden, daß die Strahlen nur durch ſtärker brechende Theile der Linſe gehen und das Bild eines nahen Gegenſtandes näher hinter der Linſe darſtellen, als es bei weiterer Pupille geſchehen würde. Eine dritte Anſicht nimmt die Wirkung der Muskeln zu Hülfe, welche den ganzen Augapfel bewegen. Dieſe ſollen beim Betrachten entfernter Gegenſtände durch

eine Zuſammendrückung des Augapfels die vordere Krümmung der Hornhaut etwas der Retina annähern und zugleich die Hornhaut etwas abplatten, beim Betrachten naher Gegenſtände dagegen im entgegengeſetzten Sinne wirken. Allen dieſen Anſichten ſtehen mehr oder minder wichtige Einwürfe entgegen, der letzten aber beſonders der, daß die Aenderung der Geſtalt des Augapfels eine viel beträchtlichere ſeyn müßte, als wegen der Härte der äußern Häute und der Zartheit der innern Theile möglich zu ſeyn ſcheint, und daß die Fähigkeit der Accommodation ſehr häufig ſchwindet, wenn auch die übrige Beweglichkeit des Auges ganz dieſelbe bleibt.

Was die zweckmäßige Anordnung des Auges in andern Rückſichten betrifft, ſo läßt ſich darüber noch Manches bemerken. Der Boden des Auges iſt unter der Nerven- oder Netzhaut mit einer ſchwarzen, ſchleimartigen Subſtanz überzogen, deren Zweck offenbar der iſt, die Reflexion der auf die innere Höhlung des Auges fallenden Strahlen zu verhindern; wo dieſes ſchwarze Pigment fehlt, welches bei den Kakerlaken, deren Pupille daher roth ausſieht, der Fall iſt, da wird das Auge durch ein etwas ſtärkeres Licht leicht geblendet, ein Nachtheil, den jenes beſeitiget. Um dieſer Blendung durch ſtärkeres Licht, welche auch bei geſunden, mit jenem ſchwarzen Pigment gehörig verſehenen Augen ſtatt finden kann, wenn das Bild im Auge von allzu zahlreichen Lichtſtrahlen hervorgebracht wird, zu begegnen, dient die merkwürdige Einrichtung der Iris oder Regenbogenhaut, daß ſie die Pupille, die ſchwarze Oeffnung des Auges, erweitern oder verengern kann. Sobald nämlich ein zu ſtarker Lichtreiz die Netzhaut des Auges trifft, ſo verengert ſich die Oeffnung der Pupille und vermindert dadurch die Menge der eingelaſſenen Strahlen, folglich auch die Erleuchtung des Bildes im Auge und den damit verbundenen Lichtreiz auf die Netzhaut. Im Dunkeln dagegen erweitert ſich die Pupille, um dem Bilde alle die Erleuchtung, die es durch Vermehrung der geſammelten Strahlen erhalten kann, zu gewähren. Von dieſer ungleichen Oeffnung der Pupille hängt es ab, daß wir, aus einem ſehr erhellten Raume in einen dunkeln eintretend, faſt gar nichts erkennen, aber nach einiger Zeit die ſchwach erhellten Gegenſtände deutlicher gewahr zu werden anfangen. Es war nämlich bei unſerm Eintritte in die Dunkelheit die Pupille ſo verkleinert, daß ſie nur wenige Lichtſtrahlen einließ, weshalb durch die matt erleuchteten Gegenſtände, die auf dieſen kleinen Raum allzu wenig Licht ſenden, kein hinreichend lebhaftes Bild hervorgebracht werden konnte; aber beim Verweilen in der Dunkelheit wird die Pupille größer und daher das Bild im Auge beſſer erleuchtet, obgleich die Gegenſtände immer nur noch gleich viel Licht ausſenden. In dieſer Ungleichheit der Pupille liegt offenbar auch ein Grund, warum unſer Auge über den Grad der Erleuchtung eines Gegenſtandes kein ſtrenges Urtheil beſitzt, weil gleiche Erleuchtung bei verſchiedenen Zuſtänden des Auges uns ungleich erſcheinen muß. Ueberdieß iſt auch die Reizbarkeit unſerer Sehenerven nicht immer gleich.

Fernſichtigkeit und Nahſichtigkeit. Brillen und Augengläſer.

Aber ſo viel auch die Natur gethan hat, um das Auge ſeinem Zwecke angemeſſen zu bilden, ſo iſt doch auch das Auge einer fehlerhaften Bildung, ſie ſey nun urſprünglich ſchon vorhanden oder durch Mißbrauch und Verwöhnung oder durch Krankheit oder Alter entſtanden, fähig, und die Folgen davon ſind Geſichtsfehler, denen wir durch künſtliche Mittel abzuhelfen ſuchen. Einer der häufigſten Fehler iſt der, daß das Auge die Fähigkeit, ſich zum Deutlichſehen für nahe und für entfernte Gegenſtände einzurichten, nicht beſitzt. Das geſunde Auge muß, vorzüglich im jugendlichen Alter, fähig ſeyn, Gegenſtände in 6 Zoll Entfernung und nach einer kurzen Zwiſchenzeit höchſt entfernte Gegenſtände deutlich zu ſehen, und es beſitzt daher die Fähigkeit, in wenigen Augenblicken dieſe Veränderung, die das Naheſehen und das Fernſehen fordert, zu bewirken. Dieſe Fähigkeit geht jedoch oft ſchon in frühem Alter durch Verwöhnung verloren, wenn Kinder oder junge Leute unaufhörlich auf eine nahe an das Auge gehaltene Arbeit ſehen und nicht abwechſelnd ihr Auge auch üben, in die Ferne zu ſehen; aber auch durch eine allmählige Veränderung des Auges im ſpätern Alter, oft auch plötzlich durch Augenkrankheit wird eine ſolche Veränderung des Auges herbeigeführt. Um dieſem Nachtheile, daß das Auge nur für die Ferne oder nur für die Nähe brauchbar iſt, abzuhelfen, dienen die Brillen.

Wenn in einem etwas weiter vorgerückten Alter, oft ſchon im 45ſten bis 50ſten Jahre, die Feuchtigkeiten im Auge ſich vermindern und Linſe und Hornhaut eine etwas weniger convexe Form annehmen, ſo wird das Auge fernſichtig. Die Brechung iſt bei dieſer Form des Auges nicht ſtark genug, um die von nahen Gegenſtänden kommenden Lichtſtrahlen ſchon auf der Netzhaut zu vereinigen, ſondern das Bild würde erſt in größerer Entfernung entſtehen, und die auf der Netzhaut noch nicht geſammelten Strahlen bringen dort ein ebenſo undeutliches Bild hervor, wie es ſich uns zeigt, wenn wir ein convexes Glas, um das Bild an der Wand darzuſtellen, dieſer zu ſehr nähern. Eine Brille mit convexen Gläſern macht ein fernſichtiges Auge fähig, nahe Gegenſtände gut zu ſehen; denn wenn der Abſtand des zu betrachtenden Gegenſtandes vom Glaſe kleiner iſt als deſſen Brennweite, ſo ſieht man hinter dem Glaſe an derſelben Seite, wo der Gegenſtand ſelbſt iſt, ein ſcheinbares aufrechtes Bild, das deſto entfernter iſt, je weniger ſich der Abſtand des Gegenſtandes von der Brennweite unterſcheidet (X. Fig. 1). Hiermit iſt für den Fernſichtigen der Zweck erreicht; er erblickt ein in die Ferne hinausgerücktes Bild des Gegenſtandes, welches er alſo deutlich ſehen kann, und dieſes Bild erſcheint ihm faſt genau ſo groß, als der Gegenſtand ſelbſt erſcheinen würde, weil, wie wir ſahen, aus der Mitte des Glaſes betrachtet Bild und Gegenſtand immer gleich groß erſcheinen. Die Lichtſtrahlen gelangen durch das Brillenglas ſo zum Auge, als ob ſie von einem entfernten Gegenſtande ausgingen, ohne daß jedoch damit die ſonſt mit der Entfernung zuſammenhängende Verkleinerung des

Geſichtswinkels ſtatt findet. Daß der Fehler der Fernſichtigkeit einzutreten anfängt, bemerkt man daran, daß man, um etwas zu leſen, das Buch weiter als gewöhnlich vom Auge entfernen muß, daß man bei mäßiger Erleuchtung gar nicht mehr im Stande iſt, eine in gewöhnlicher Entfernung gehaltene Schrift zu leſen, und daß man daher endlich es nöthig findet, das Buch, in welchem man leſen will, hinter das Licht zu halten. Wenn dieſe Umſtände eintreten, ſo iſt es Zeit, eine Brille zu gebrauchen; doch thut man wohl, ſie anfangs nur von geringer Convexität zu wählen, obgleich man gewöhnlich die ſtärkern angenehmer findet. Eine ſchon ſehr convexe Brille macht das Auge leicht noch fernſichtiger, und auch eine mäßig ſtarke Brille ſchadet dem Auge, wenn man durch ſie nach entfernten Gegenſtänden, die weiter als um die Brennweite vom Glaſe ab liegen, ſieht, weshalb man ſich gewöhnen muß, ſie ſogleich zu entfernen, wenn man vom Buche weg auf einen entfernteren Gegenſtand ſehen will. Gewöhnlich nimmt das Uebel der Fernſichtigkeit mit den Jahren zu, und man muß ſich nach und nach andrer Brillen mit convexeren Gläſern bedienen. Bei der Wahl derſelben muß man zwar ſich durch die Annehmlichkeit, welche eine ſtarke Brille darbietet, nicht verleiten laſſen, aber doch auch eine ſolche wählen, durch welche man ohne allzu ſtarkes Licht mit Leichtigkeit lieſt, damit nicht die Anſtrengung des Auges dieſem nachtheilig werde. Will man das Auge nicht verwöhnen, ſo gebe man dem Buche, worin man lieſt, die größte Nähe, wobei man noch deutlich und leicht alles erkennt; denn wenn der Gegenſtand nicht ſo weit als der Brennpunkt vom Auge entfernt iſt, ſo erhält man die Strahlen, die von einem Punkte kommen, noch nicht ganz parallel, ſondern ſo, wie ſie von mäßig entfernten Gegenſtänden ausgehen. Muß man in einzelnen Fällen in Ermangelung der Brille, um bei Lichte zu leſen, das Buch hinter das Licht halten, ſo iſt es vortheilhaft, das Auge mit der Hand gegen die unmittelbare Einwirkung der Lichtflamme zu ſchützen, wodurch der Vortheil, den ſtark erleuchteten Gegenſtand gut zu ſehen, nicht aufgehoben wird. Indeß iſt die Gewöhnung an zu ſtarke, blendende Erleuchtung dem Auge allemal nachtheilig.

Die Kurzſichtigkeit fordert concave Augengläſer. Bei dem Kurzſichtigen iſt die Krümmung der Hornhaut und der Linſe zu groß, und es werden daher die von einem nahen Gegenſtande A ausgehenden Strahlen ſo ſtark gebrochen, daß ſie ein reines Bild in B auf der Netzhaut darſtellen (VII. Fig. 30); die Lichtſtrahlen dagegen, die von entfernteren Gegenſtänden kommen, wie D H, ſollten ein reines Bild in C darſtellen, welches, weil die Strahlen erſt in der Gegend von B aufgefangen werden, wo ſie ſchon wieder angefangen haben, ſich zu zerſtreuen, nicht rein hervorgeht, ſondern bei B entſteht für jeden Punkt des Gegenſtandes ein größerer erleuchteter Raum, eben dadurch aber ein verwirrtes Bild. Das concave Glas E G, durch welches das kurzſichtige Auge auf entfernte Gegenſtände ſieht, giebt, wie wir ſahen, ein ſcheinbares, aufrechtes, nahe am Glaſe liegendes Bild; die Strahlen eines entfernten Gegenſtandes K E, A G gelangen alſo ſo zum Auge, als ob ſie von dem näheren

Bilde A, das höchſtens um die Zerſtreuungsweite vom Glaſe abſteht, ausgingen, und da das Auge ſich faſt am Mittelpunkte des Glaſes befindet, ſo wird auch hier der Geſichtswinkel, unter dem der Gegenſtand erſcheint, faſt gar nicht geändert. Der Kurzſichtige hat bei der Wahl und dem Gebrauche ſeiner Gläſer ähnliche Regeln wie der Fernſichtige zu befolgen. Da das jugendliche Auge noch fähig zu ſeyn pflegt, durch Gewöhnung ſich von ſeinen Fehlern zu erholen, ſo iſt es allen jungen Leuten anzurathen, daß ſie dadurch, daß ſie entferntere Gegenſtände ſcharf ins Auge faſſen und ſich anſtrengen, um dieſe deutlich zu ſehen, ihr Auge zu verbeſſern ſuchen. Können ſie aber des Glaſes nicht entbehren, ſo müſſen ſie kein zu hohl geſchliffenes wählen, und es nicht anwenden, wenn ſie auf nahe Gegenſtände ſehen.

Der Gebrauch aller Gläſer hat Unbequemlichkeiten und bringt dem Auge einige Nachtheile; dahin gehört, wenn das Licht von der Seite auf das Auge und auf die Brille fällt, der Reflex des von der Hinterſeite der Brille ins Auge fallenden Lichtes, der dem Auge unangenehm und ſogar ſchädlich iſt und den man daher zu vermeiden ſuchen muß. Aber dennoch müſſen wir es freilich als ein großes Glück anerkennen, daß beſonders gegen die unvermeidlichen Fehler, denen unſre Augen unterworfen ſind, dieſe Hülfsmittel uns zu Gebote ſtehen.

Wenn der Fehler des Auges nicht bei beiden Augen gleich iſt, ſo muß man für jedes einzelne das angemeſſene Glas ausſuchen. Für ein Auge allein eine Lorgnette zu gebrauchen iſt nachtheilig, weil das andre Auge ſich dann ganz an Unthätigkeit gewöhnt. Die größern Leſegläſer als Hülfsmittel für Fernſichtige zu gebrauchen iſt nicht zu häufiger Anwendung zu empfehlen, weil die Bewegung des Glaſes nicht immer eine gleichmäßige Richtung der zum Auge gelangenden Strahlen geſtattet und das Auge daher nicht mit gehöriger Gleichheit immer ein reines Bild erhält. Will man ſich ihrer da, wo es nur für kurze Zeit nöthig iſt, bedienen, ſo kann es ohne großen Nachtheil geſchehen.

Weibliche Perſonen ſind viel häufiger weitſichtig, als kurzſichtig; dagegen findet bei denjenigen Perſonen männlichen Geſchlechts, die ſich den Wiſſenſchaften widmen, das entgegengeſetzte Verhältniß ſtatt, indem hier die Kurzſichtigkeit ohne Vergleich häufiger iſt.

Vergrößerungsgläſer. Einfache Microſcope.

Selbſt das beſte Auge kann doch ſehr kleine Gegenſtände nicht mehr deutlich erkennen, und wir ſehen uns daher nach Hülfsmitteln um, die Sehekraft unſers Auges in dieſer Hinſicht zu verſtärken. Wenn wir ſehr kleine Gegenſtände unter einem hinreichend großen Sehewinkel, um noch einzelne Theile zu unterſcheiden, ſehen wollen, ſo ſind wir genöthigt, ſie ſehr nahe an das Auge zu bringen; aber ein geſundes Auge iſt nicht im Stande ſich ſo anzuordnen, daß bei einer Entfernung von 2 Zoll das Bild im Auge noch deutlich werde, und es ſieht daher einen ſo nahe gehaltenen Gegenſtand zwar groß, aber undeutlich; der Kurzſichtige, der alle Gegenſtände bis auf

3 oder 4 Zoll dem Auge zu nähern gewohnt iſt, hat darin einen Vorzug, daß er ſehr kleine Gegenſtände gut ſieht, ja die Kurzſichtigkeit entſteht eben aus dem oft wiederkehrenden oder ununterbrochen dauernden Bedürfniß, ſehr kleine Gegenſtände genau mit bloßem Auge zu ſehen. Die convexe Linſe ſetzt aber ein jedes Auge nach Verſchiedenheit der Brennweite in den Stand, die Gegenſtände ſo groß zu ſehen, wie ſie in 2 Zoll oder 1 Zoll, ja in 1 Linie Entfernung erſcheinen, und ſie dient uns daher als Vergrößerungsglas. Wenn das Auge gewohnt iſt, durch parallele Strahlen gut zu ſehen, oder wenn es fernſichtig iſt, ſo ſieht es diejenigen Punkte durch eine einfache Linſe deutlich, die um den Brennpunkt A liegen; denn die von da auf die Linſe fallenden Strahlen kommen parallel, wie DO, BO (VII. Fig. 31), in das Auge. Iſt a ein Punkt, der neben dem Brennpunkte liegt, und dieſem ſo nahe, wie es bei den durch ein Vergrößerungsglas betrachteten Gegenſtänden der Fall iſt, ſo werden auch die von ihm ausgehenden Strahlen nach der Brechung parallel, und zwar parallel dem durch die Mitte B des Glaſes gehenden Strahle aB. So ſieht alſo das Auge in O den Punkt A in der Richtung OA, den Punkt a in der Richtung OG, und er erſcheint ſo groß, als der Sehewinkel GOA, welcher dem aBA gleich iſt, angiebt; hielte man das Auge in E, ſo wäre BE der von a zum Auge gelangende Strahl, DE der von A kommende, und bei jeder Stellung des Auges in O oder E, oder wo es den ganzen Gegenſtand Aa überſieht, erſcheint dieſer unter einem Sehewinkel, der dem Winkel aBA gleich iſt, das heißt, ſo groß, als er dem bloßen Auge, wenn dieſes in B wäre, erſchiene. Daſſelbe kann man nach den früher mitgetheilten allgemeinen Geſetzen auch ſo überſehen. Ein Gegenſtand, der der convexen Linſe bis innerhalb der Brennweite genähert wird, giebt ein ſcheinbares, aufrechtes und ſehr entferntes Bild; dieſes Bild iſt deſto entfernter, je näher der Gegenſtand dem Brennpunkte iſt, deſſenungeachtet erſcheint es eben ſo groß als der Gegenſtand ſelbſt, wenn beide von der Mitte des Glaſes aus betrachtet werden. Ein Beobachter in O ſieht alſo ſtatt des Gegenſtandes cA ſein in die Ferne hinausgerücktes Bild, das ſeiner Entfernung wegen deutlich geſehen wird, das aber zugleich ſo groß erſcheint, als der Gegenſtand von B aus betrachtet erſcheinen würde. Ob man das Auge dem Glaſe mehr annähert oder davon entfernt, macht in Beziehung auf die ſcheinbare Größe des betrachteten Gegenſtandes keinen Unterſchied, weil dieſe geringe Aenderung der Lage gegen die große Entfernung des ſcheinbaren Bildes, das eigentlich nur geſehen wird, nicht in Betrachtung kömmt; nur müſſen Linſe und Gegenſtand ihre Lage behalten, weil durch dieſe der Ort des Bildes beſtimmt wird. Man ſieht hieraus zugleich, daß Kurzſichtige den Gegenſtand noch etwas mehr der Linſe annähern müſſen, indem ſie dadurch zugleich auch jenes ſcheinbare Bild beträchtlich annähern und alſo zur deutlichen Wahrnehmung geſchickter machen.

Um aber nun die Vergrößerung zu berechnen, muß man den Abſtand kennen, in welchem man mit bloßem Auge deutlich ſieht. Iſt mein Auge ſo beſchaffen, daß es kleine Gegenſtände in 10 Zoll Entfernung am beſten ſieht,

und hat meine Glaslinſe 1 Zoll Brennweite, ſo vergrößert dieſe mir 10 mal im Durchmeſſer, das heißt, ich erkenne $^1/_{40}$ Linie unter dieſer Linſe noch eben ſo deutlich, als $^1/_4$ Linie mit bloßem Auge. Dieſes iſt die Vergrößerung nach dem Durchmeſſer; die Vergrößerung nach der Fläche würde hundertfach ſeyn. So verhält ſich die Vergrößerung für dieſes Auge; ſieht dagegen ein ſehr Kurzſichtiger, der die Gegenſtände auf 2 Zoll Weite dem Auge zu nähern pflegt, durch eben die Linſe, ſo ſieht er den Gegenſtand nur doppelt ſo groß, als bei dieſer ihm gewöhnlichen Stellung; er konnte ſchon mit bloßem Auge Abtheilungen, die $^1/_{20}$ Linie betragen, ebenſo deutlich erkennen, als jenes Auge Abtheilungen von $^1/_4$ Linie (vorausgeſetzt, daß beide Augen gleich ſcharf Gegenſtände erkennen, die einem Sehewinkel von beſtimmter Größe entſprechen), und dem Kurzſichtigen iſt daher mit der Linſe nur wenig gedient. Die einfachen Microſcope beſtehen nur aus einer convexen Linſe von ſehr kurzer Brennweite, zu welcher freilich paſſende Einrichtungen hinzukommen müſſen, um den ſehr nahe am Glaſe befindlichen Gegenſtand, der wegen der Kleinheit der Linſe ein an ſich lichtſchwaches Bild giebt, recht vollkommen durch das reflectirte Licht eines Hohlſpiegels oder auf ähnliche Art zu erleuchten. Die Vergrößerung kann ſchon hier ſehr ſtark ſeyn, betrüge die Brennweite nämlich $^1/_{32}$ Zoll, ſo würde die Vergrößerung für ein auf 10 Zoll deutlich ſehendes Auge 320fach oder nach der Fläche 102400fach ſeyn; das heißt, wenn ein ſolches Auge noch $^1/_7$ Linie in der Länge oder $^1/_{49}$ Quadratlinie deutlich erkennt, ſo kann es mit Hülfe der Linſe $^1/_{2240}$ Linie in der Länge und $^1/_{5017600}$ Quadratlinie, alſo etwa das Fünftel des Milliontels einer Quadratlinie erkennen.

Hieraus werden Sie auch überſehen, warum wir die Vergrößerung vorzüglich bei Brillen und größeren Linſen, wo es leichter ins Auge fällt, als ſtärker erkennen, wenn wir das Glas weiter vom Auge entfernen; immer nämlich erſcheint uns der Gegenſtand ſo groß, wie er erſcheinen würde, wenn das Auge da ſtände, wo wir das Glas halten, und da wir dieſe Größe mit der dem freien Auge erſcheinenden vergleichen, ſo ſcheint uns die Vergrößerung bei größerer Entfernung des Auges beträchtlicher.

Das Entgegengeſetzte findet bei Hohlgläſern ſtatt. Vermittelſt des Hohlglaſes CD (VII. Fig. 32) würde ſich das ſcheinbare Bild des Gegenſtandes AB in ab darſtellen und zwar von C aus betrachtet ebenſo groß als der Gegenſtand ſelbſt erſcheinen, von O aus dagegen unter dem Geſichtswinkel aOb, der kleiner iſt als der Geſichtswinkel AOB des direct geſehenen Gegenſtandes.

Das Sonnenmicroſcop. Die Zauberlaterne.

Als ein andres Mittel zur Vergrößerung kleiner Gegenſtände muß ich hier noch das Sonnenmicroſcop erwähnen, ein Inſtrument, das den Vortheil gewährt, die Vergrößerung bis zum höchſten Grade zu treiben, das aber dennoch zu genauen Beobachtungen nicht tauglich iſt, weil die, freilich ſehr großen, Bilder nicht den Grad von Schärfe und Beſtimmtheit haben, welchen

man fordern muß, wenn es darauf ankömmt, ſeine Gegenſtände ſo zu ſehen, daß ihre Betrachtung zu nützlichen Schlüſſen führen und unſre Kenntniſſe über ihre wahre Beſchaffenheit berichtigen kann. Es iſt Ihnen bekannt, daß das wirkliche Bild eines Gegenſtandes, das ſich an der andern Seite der convexen Linſe bildet, immer größer wird, je weiter es in die Ferne rückt; dieſes Hinausrücken in immer größere Ferne tritt aber ein, wenn bei einer einfachen Linſe der Gegenſtand ſich dem Brennpunkte ſehr nähert, und es iſt daher nur nöthig, den Gegenſtand recht nahe an den Brennpunkt zu bringen, um in 10 oder 20 Fuß Entfernung ein ungemein großes Bild zu erhalten. Dieſes an einer Wand oder großen weißen Tafel aufgefangene Bild iſt es, welches das Sonnenmicroſcop darſtellt, deſſen Haupteinrichtung alſo von der einen Seite nur darin beſteht, dem Gegenſtande eine ein wenig von dem Brennpunkte entfernte Stellung zu geben, und ihn ſo zu ſtellen, daß das Bild auf die Wand fällt. Aber bei gewöhnlicher Beleuchtung, ſelbſt wenn man ſie durch Spiegel und Sammelgläſer verſtärkte, würde ein ſtark vergrößertes Bild ſo matt erleuchtet ſeyn, daß man es nicht einmal wahrnehmen, viel weniger in ſeinen einzelnen Theilen beobachten könnte. Man wendet deshalb das Sonnenlicht auf eine wirkſamere Weiſe an, indem man das Rohr, worin ſich die Linſe befindet, in die Oeffnung am Fenſterladen eines finſtern Zimmers einſetzt, und nun die Sonnenſtrahlen entweder unmittelbar grade durch dieſes Rohr einfallen oder vermittelſt einer Zurückwerfung von einem außen angebrachten Spiegel den Gegenſtand treffen läßt. Aber um die Erleuchtung aufs höchſte zu verſtärken, läßt man nicht allein (VII. Fig. 35) die vom Spiegel AB reflectirten Sonnenſtrahlen ſo in der Richtung des Rohres CD einfallen, ſondern concentrirt ſie noch durch ein Sammelglas CE, damit ſie dicht vereinigt den Gegenſtand M treffen, der dem Brennpunkte des Glaſes DF ganz nahe liegend ſein Bild an der Wand GH darſtellt. Beſteht nun der Gegenſtand, wie zum Beiſpiel der Flügel einer Fliege, aus durchſichtigen Theilen, zwiſchen welchen unburchſichtige Aederchen oder Faſern liegen, ſo zeigt die ſtarke Beleuchtung der durchſichtigen Theile oder das durch dieſe in reicher Menge durchgehende Licht das Bild an den entſprechenden Stellen erleuchtet; an den Stellen, welche den undurchſichtigen Theilen entſprechen, iſt das Bild unerleuchtet, und dieſe erſcheinen daher als mehr oder minder deutliche Schatten begrenzt. Obgleich nun bei 1000maliger Vergrößerung des Gegenſtandes das Licht der hellen Theile ſehr geſchwächt iſt, ſo bleibt doch bei ſo mächtiger Beleuchtung noch immer ein hinreichender Unterſchied kenntlich; aber für das Erkennen der kleinſten Theile in ihren zarten Umriſſen reicht dieſes Bild nicht hin. Vortheilhafter als das Sonnenlicht kann das blendende Licht angewendet werden, das von einem Stücke Kalk ausgeht, wenn derſelbe durch eine mit Sauerſtoff angeblaſene Waſſerſtoffgas-Flamme glühend erhalten wird; dieß giebt das ſogenannte Hydro-Oxygengas-Microſcop.

Die bekannte Zauberlaterne (Laterna magica) beruht auf ganz ähnlichen Gründen, nur iſt hier das nach der Richtung des Rohres einfallende

Licht das Licht einer Lampe, noch durch einen dahinter ſtehenden Spiegel verſtärkt; bei M befindet ſich ein mit halbdurchſichtigen Farben auf Glas gezeichneter Gegenſtand, deſſen vergrößertes farbiges Bild an der Wand bekanntlich das iſt, was uns die Zauberlaterne darſtellen ſoll. Je entfernter es aufgefangen wird, deſto größer erſcheint es an der Wand.

Beſtimmung des Grades der Weiße einer weißen Fläche.

Ehe ich zu den zuſammengeſetzteren Verbindungen der Linſengläſer und den Anwendungen derſelben übergehe, iſt es wohl hier der paſſendſte Ort, zu zeigen, wie *Lambert* mit Hülfe der Glaslinſen die ungleichen Grade der Weiße weißer Flächen zu beſtimmen gelehrt hat. Wenn man ein ſtark erleuchtetes weißes Papier als den Gegenſtand AB (VIII. Fig. 1*) anwendet, deſſen Bild ab man auf einer weißen Tafel auffangen will, ſo wird offenbar, wenn die Stellung der Linſe dieſelbe bleibt, dieſes Bild deſto lebhafter ſeyn, je ſtärker das Papier erleuchtet wird und je größer die Weiße des Papieres iſt; dagegen aber kann man die Erleuchtung des Bildes durch eine andre Stellung des Papieres und der Linſe nach Willkür verſtärken oder ſchwächen, indem, wie Sie ſchon wiſſen, dadurch bald ein größeres, matteres, bald ein helleres, lebhafteres Bild hervorgebracht wird. Der Verluſt an Licht, der beim Durchgange des Lichtes durch die Linſe ſtatt findet, muß aus Verſuchen, die ich ſchon früher angegeben habe, bekannt ſeyn (ich will ihn auf $^1/_{20}$ ſetzen); dann darf man ja gewiß ſagen, das Bild ab erhält alle von AB auf die Linſe EF fallenden Lichtſtrahlen, jenen Verluſt abgerechnet, und wenn die Wand Db hindert, daß von der Flamme L Licht nach ab gelange, während bc ſenkrecht von ihr erleuchtet wird, ſo kann man die Stellung der Flamme L ſo wählen, daß die Erleuchtung bei ab und bc gleich erſcheine. Die Menge der von AB zurückgeſandten Lichtſtrahlen iſt der Erleuchtung, welche durch Abſtand und Lage der Flamme L bekannt iſt, proportional; aber weil AB nicht alle empfangenen Strahlen zurückſendet, ſo iſt nur ein beſtimmter Theil davon, ein deſto geringerer, je mehr AB ſich von der abſoluten Weiße entfernt, als gegen die Linſe EF zu ausſtrahlend in Rechnung zu bringen; von dieſen auf die Linſe fallenden Strahlen, deren Menge man aus der Größe und Entfernung der Linſe berechnen kann, ſind nur $^{19}/_{20}$ in dem Bilde ab angekommen, und ſo hat man alles, was zur Berechnung der Erleuchtung in ab erforderlich iſt, nur die Weiße des Papieres AB nicht. Ergiebt nun das Experiment die Größe der Erleuchtung in ab derjenigen gleich, welche die Tafel bc unmittelbar erhält, ſo findet man, wie viele der auffallenden Strahlen das Papier AB zurückgiebt, oder welche Weiße dieſes hat. *Lambert* findet, ſelbſt vom weißeſten Papiere, daß nur $^2/_5$ der Strahlen zurückgeworfen werden, — eine Beſtimmung, die wohl nicht weit von der Wahrheit entfernt ſeyn kann.

Dreiunddreißigſte Vorleſung.

Wenn eine Verbindung von mehreren Linſen oder von Linſen und Spiegeln irgend einer Art angewendet wird, ſo gilt in allen Fällen das leicht aufzufaſſende Geſetz, daß das Bild, welches die erſte Linſe oder der erſte Spiegel giebt, als ein Gegenſtand betrachtet werden kann, von dem nun die zweite Linſe oder der zweite Spiegel nach den uns bekannten Geſetzen wieder ein Bild giebt u. ſ. f. Die einzige Einſchränkung, die hierbei zu machen iſt, iſt die, daß die zweite Linſe oder der zweite Spiegel ſich an einem Orte befinden muß, wohin Strahlen des erſten Bildes gelangen; übrigens aber iſt es gleichgültig, ob dieſes erſte Bild ein wirkliches oder ſcheinbares ſey, weil es doch immer nur auf die letzte Richtung der Strahlen, nicht auf ihren Urſprung, ankommt.

Camera obſcura.

Der einfachſte Fall dieſer Art findet bei der Camera obſcura ſtatt, durch die das Bild einer ganzen Landſchaft in einer zum Nachzeichnen der Umriſſe bequemen Stellung auf einer Papierfläche dargeſtellt wird. Ein etwa unter einem Winkel von 45° geneigter ebener Spiegel ab (X. Fig. 3) empfängt das Licht, das von einem entfernten Gegenſtande A ausgeht, und ſtellt alſo deſſen ſcheinbares Spiegelbild ſo dar, als ob es in A′ läge. Vom Spiegel fallen die Lichtſtrahlen auf die convexe Linſe cd ganz ſo, als ob ſie von dem Bilde A′ herkämen, ſie bringen daher in der Nähe des Brennpunktes ein wirkliches Bild A″ hervor, und dieſes kann auf dem Boden des dunkeln Kaſtens, an deſſen oberer Oeffnung die Linſe verſchiebbar befeſtigt iſt, aufgefangen werden. Es iſt ein allgemein gültiges und in allen einzelnen Fällen leicht nachzuweiſendes Geſetz, daß die Bahn, die ein Lichtſtrahl bei den mannigfaltigſten Spiegelungen und Brechungen durchläuft, auch immer von einem andern Lichtſtrahl grade ebenſo in der entgegengeſetzten Richtung durchlaufen werden kann; daher würde umgekehrt ein gut erleuchteter Gegenſtand in A″ zunächſt ſein wirkliches Bild in A′ darſtellen und dieſes würde durch den Spiegel nach A gebracht werden.

Hierauf beruht eine andre Einrichtung der Camera obſcura, wo man das Licht zuerſt auf die an der Seite des Kaſtens befindliche Linſe und dann auf einen ſchief ſtehenden Spiegel fallen läßt. Zugleich ſieht man, daß ſelbſt in dieſem beſonderen Falle, wo von einer Spiegelung des hinter die Spiegelfläche fallenden Bildes A′ im gewöhnlichen Sinne nicht die Rede ſeyn kann, doch das vorangeſtellte allgemeine Geſetz noch gilt, da die Punkte A′ und A die gegenſeitige Lage haben wie ein Gegenſtand und ſein Spiegelbild.

Das zuſammengeſetzte Microſcop.

Um ſtarke Vergrößerungen auf eine vollkommnere Art, als es mittelſt einfacher Linſen möglich iſt, hervorzubringen, bedient man ſich des zuſammengeſetzten

Microſcops und ein ſolches läßt ſich ſchon aus zwei convexen Linſen bilden. Stellt man nämlich den zu betrachtenden Gegenſtand vor einer Linſe von ſehr kurzer Brennweite um $^{11}/_{10}$ der Brennweite davon entfernt auf, ſo entſteht in mäßiger Entfernung hinter dieſer erſten Linſe (Objectivlinſe) ein zehnfach vergrößertes wirkliches Bild, und wenn man dieſes mit einem Vergrößerungsglaſe (Ocular) von 4 Linien Brennweite betrachtet, ſo erſcheint einem Auge, das in 10 Zoll Entfernung deutlich ſieht, jenes Bild abermals 30 mal vergrößert; es entſteht alſo eine 300 malige Vergrößerung dem Durchmeſſer nach oder eine 90000 malige der Fläche nach.

Durch Anwendung mehrerer Linſen erreicht man, daß ſich ein größeres Geſichtsfeld auf einmal überſehen läßt, und gewinnt außerdem bei zweckmäßiger Anordnung an Deutlichkeit und Helligkeit. Gewöhnlich werden drei Linſen angewandt, und unter den verſchiedenen Stellungen, die man dieſen geben kann, will ich wenigſtens eine der gebräuchlichſten erörtern. Sey (X. Fig. 4) der Gegenſtand a b ſo geſtellt, daß ſein wirkliches vergrößertes und umgekehrtes Bild in a′b′ innerhalb der Brennweite der zweiten Linſe entſteht, ſo wird nun die zweite Linſe kein wirkliches Bild von a′b′, ſondern nur ein ſcheinbares, an derſelben Seite liegendes etwa in a″b″ darſtellen, das vom Mittelpunkte des Glaſes aus ebenſo groß erſcheinen muß als a′b′. Dieſes zweite Bild a″b″ muß ſo liegen, daß es ſich etwas näher an der dritten Linſe befindet als deren Brennpunkt; daher giebt auch die dritte Linſe, indem ſie ganz wie ein Vergrößerungsglas wirkt, nur ein ſcheinbares, weit hinausgerücktes Bild a‴b‴, das grade in einem paſſenden Abſtande liegt, um deutlich geſehen zu werden, und vom Glaſe aus betrachtet ebenſo groß erſcheint als das für das deutliche Erkennen zu nahe liegende Bild a″b″. Die Wirkung kann noch erhöht werden, wenn man ſtatt einer Objectivlinſe mehrere unmittelbar neben einander geſtellte anwendet; in allen Fällen aber müſſen die Oculare zuſammen in einer verſchiebbaren Röhre befeſtigt ſeyn, um dem Bilde der erſten Linſe auf paſſende Art genähert werden zu können.

Da das ſtark vergrößerte Bild nur dann mit Vortheil angewandt werden kann, wenn es noch Lichtſtärke genug beſitzt, ſo wendet man gern alle Hülfsmittel zu Vermehrung der Beleuchtung an, und läßt daher durch einen an der andern Seite des Gegenſtandes angebrachten Spiegel das Licht auf dieſen zurückwerfen und durch ein ſeitwärts ſtehendes Sammelglas die vereinigten Strahlen heller Wolken den Gegenſtand treffen.

Die Stärke der Vergrößerung kann man aus den gegebenen Halbmeſſern der Gläſer oder aus der beobachteten Brennweite derſelben berechnen; aber da ſehr kleine Brennweiten ſich nicht ohne Schwierigkeit mit der Genauigkeit beſtimmen laſſen, die man zu erhalten wünſchen müßte, ſo bedient man ſich auch andrer practiſcher Mittel, um die Vergrößerung kennen zu lernen. Für den, der mit beiden Augen recht gut ſieht, iſt folgendes Mittel das einfachſte und für viele Zwecke hinreichend genau. Man bringt eine ſehr feine Theilung, wo zum Beiſpiel der Zoll in tauſend Theile getheilt iſt, unter das Microſcop,

und indem man das ſtark vergrößerte Bild dieſes Gegenſtandes vor dem durch das Microſcop blickenden Auge ſchweben ſieht, öffnet man das andre Auge, um in der Richtung, wo jenes Bild erſcheint, einen Maßſtab von großen Eintheilungen zu betrachten, oder zwei verſchiebbare Parallellinien ſo zu ſtellen, daß ſie 10 oder 20 jener im vergrößerten Bilde ſichtbaren Eintheilungen zwiſchen ſich faſſen; befinden ſich dieſe Parallellinien in der gewöhnlichen Sehweite und erſcheinen 20 Tauſendſtel des Zolles hier gleich 4 Zollen, ſo iſt die Vergrößerung 200 fach. Indeß fordert dieſes Verfahren nicht bloß zwei gute Augen, ſondern auch Uebung im Vergleichen der beiden im Microſcop und frei geſehenen Gegenſtände, und kann nur bei ſehr großer Uebung einen hinreichenden Grad von Genauigkeit erreichen. Weit mehr findet dieſe ſtatt, wenn man mit eben demſelben Auge das Bild im Microſcope mit dem freigeſehenen Gegenſtande vergleichen kann, wie von Jacquin's ſehr angemeſſene Anordnung des Inſtrumentes es möglich macht. Wenn man, ſtatt das Auge ſelbſt in die gewöhnliche Stellung vor dem Ocular zu bringen, an dem Platze des Auges einen ſchief geſtellten kleinen ebnen Spiegel anbringt, ſo kann man bei richtig gewählter, ſehr naher Stellung des Auges, ſeitwärts in den Spiegel blickend, das vergrößerte Bild genau ſo, wie es dem unmittelbar in das Microſcop ſehenden Auge erſcheint, im Spiegel wahrnehmen. Stellt man nun einen in Zolle und Theile von Zollen getheilten Maßſtab ſo auf, daß er dem in jenen Spiegel ſehenden Auge ganz nahe neben dem Spiegelbilde erſcheint, wählt man zu dem im Microſcop vergrößerten und jetzt im Spiegelbilde erſcheinenden Gegenſtande eine feine Theilung mit Parallellinien und giebt dieſer die Lage, daß die Theilungslinien im Bilde mit den Theilungslinien des Maßſtabes gleichlaufend ſind, ſo kann man mit großer Genauigkeit wahrnehmen, wie viele Theile des vergrößerten Gegenſtandes mit gewiſſen Theilen des Maßſtabes zuſammenſtimmen. Die Beſtimmung der Vergrößerung findet dann ebenſo wie vorhin ſtatt; das Auge muß aber in genau bekannter Entfernung von dem Maßſtabe ſeine Stellung erhalten, und zwar am beſten in derjenigen, welche zum deutlichen Sehen für den Beobachter am angemeſſenſten iſt.

Aber obgleich man ſo ein Mittel hat, um von einer Seite den Werth eines Microſcopes genau zu beſtimmen, nämlich von Seiten der Vergrößerung, ſo iſt damit doch keineswegs die wahre Brauchbarkeit deſſelben beſtimmt. Es iſt nicht ſo ſchwer, ſehr ſtarke Vergrößerungen bei einem Microſcope anzubringen, aber es iſt eine große Kunſt des Verfertigers, bei dieſen Vergrößerungen noch immer die vollkommene Klarheit und Deutlichkeit zu erreichen, die erforderlich iſt, um genau zu ſehen, um bis auf die kleinſten Theile zu erkennen, was das Inſtrument darſtellt. Um in dieſer Hinſicht ein Inſtrument, welches zur Vergleichung vorgelegt wird, mit dem zu vergleichen, was andre Inſtrumente leiſten, ſchlägt von Jacquin beſtimmte ſehr feine Gegenſtände vor, die man durch daſſelbe betrachten ſoll. Solche Gegenſtände ſind die Schuppen vom weißen Schmetterling, Papilio Brassicae, die, durchſichtig beleuchtet,

als fein liniirt erſcheinen; dieſe Linien ſind $1/_{10800}$ Zoll von einander entfernt und werden bei einem guten Microſcop ſchon bei 60 bis 80maliger Vergrößerung, ſchöner aber bei jeder ſtärkern Vergrößerung ſichtbar. Als einen viel feinern Gegenſtand empfiehlt von Jacquin die feinen Linien auf den durchſichtigen, faſt ungefärbten Schuppen der reißbleiartig glänzenden Kleider- und Pelzmotte; ſie werden nur bei der höchſten Schärfe und Lichtſtärke des Microſcopes und bei 300 bis 400maliger Vergrößerung ſichtbar, und gehören alſo zu den ausgeſuchteſten Prüfungsmitteln für ſehr vollkommene Inſtrumente. [1]

Aber um durch ein Microſcop die Gegenſtände deutlich zu ſehen, muß auch der Beobachter alle die Vorſichten kennen, die der Gebrauch des Inſtruments fordert, und den dabei unvermeidlichen Schwierigkeiten auszuweichen wiſſen. Je geringer die Brennweite einer Linſe iſt, deſto genauer muß der Gegenſtand in einem ganz beſtimmten Punkte ſich befinden, um deutlich geſehen zu werden, und es iſt bei ſtarken Vergrößerungen ganz unmöglich, Punkte, die etwas näher und ſolche, die etwas entfernter ſind, zugleich deutlich zu ſehen; man muß daher die Stellung des Inſtruments aufs genaueſte dem zu beobachtenden Punkte gemäß anordnen, und ſie ändern, wenn man in dem Geſichtsfelde, welches man überſieht, bald entferntere bald nähere Punkte beobachten will.

An die Wahrnehmung ſehr kleiner Gegenſtände knüpft ſich gewöhnlich der Wunſch, auch ihre Ausdehnung wirklich zu meſſen. Man bringt zu dieſem Zwecke an der Stelle, wo das erſte wirkliche Bild a′ b′ (X. Fig. 4) entſteht, auf einem kreisförmig ausgeſchnittenen Bleche (Diaphragma, Blendung), das beſtimmt iſt, die undeutlichen Ränder des Bildes abzuſchneiden, eine dünne Glastafel mit feinen eingeritzten Parallellinien an. Da dieſe Linien ſich genau an einer und derſelben Stelle mit jenem Bilde befinden, ſo werden ſie zugleich mit demſelben deutlich und vergrößert geſehen, und es zeigt ſich alſo unmittelbar, wieviele derſelben irgend ein zu meſſender Gegenſtand bedeckt. Dem wievielſten Theile einer Linie hierbei der Zwiſchenraum zweier nächſten Parallellinien entſpricht, kann durch eine vorläufige Meſſung beſtimmt werden, indem man eine ähnliche Eintheilung, wo z. B. die Linie in 100 Theile getheilt iſt, als zu betrachtenden Gegenſtand auf das Objecttiſchchen legt und nun nachſieht, wie viele der Parallellinien im Diaphragma auf $1/_{100}$ Linie gehen. Eine andre Methode der Meſſung, die aber nur bei vollkommen ruhigen Objecten gebraucht werden kann, beruht auf der Anwendung einer feinen Micrometerſchraube, durch welche ſich das ganze Objecttiſchchen langſam ſeitwärts bewegen läßt. Man bewirkt durch die Schraube, daß erſt der eine und dann der andre Rand des zu meſſenden Gegenſtandes von einem im Diaphragma ausgeſpannten feinen Faden verdeckt wird; aus der Anzahl der Umdrehungen der Schraube ergiebt ſich dann der wirkliche Durchmeſſer des Gegenſtandes.

[1] von Jacquin's Aufſätze (in Baumgartner's und von Ettingshauſen's Zeitſchrift für Phyſik IV. 1 und V. 129) enthalten noch mehr beachtenswerthe Bemerkungen.

Amici's Spiegelmicroſcop.

So wie bei dieſen dioptriſchen Microſcopen das wirkliche durch eine Linſe dargeſtellte Bild angewandt wird, ebenſo kann man auf eine zuerſt von Amici beſchriebene Art das Bild eines Hohlſpiegels gebrauchen und erhält dann ein aus Linſen und Spiegeln zuſammengeſetztes oder ſogenanntes catadioptriſches Microſcop. Ich habe bei den Spiegeln nicht den elliptiſch geſchliffenen Spiegel erwähnt, der die Eigenſchaft hat, die aus dem einen Brennpunkte ausgehenden Strahlen in dem andern Brennpunkte der Ellipſe genau zu vereinigen. Die Ellipſe nämlich, die ich ſchon in den mechaniſchen Lehren der Phyſik an mehreren Stellen erwähnt habe, beſitzt die Eigenſchaft, daß zwei Linien (VII. Fig. 33), von ihren beiden Brennpunkten A, B aus nach einem Punkte D des Umfangs gezogen, mit dem Einfallslothe DE oder mit der Berührungslinie FDG gleiche Winkel machen.[1] Dieſe Eigenſchaft der Ellipſe bewirkt, daß ein von A ausgehender, in D antreffender Lichtſtrahl nach B reflectirt wird, wenn die ſpiegelnde Oberfläche nach der Ellipſe gebildet iſt, und da dieß für jeden Punkt, der von A ausgehende Strahl mag in D oder in d oder in d′ antreffen, ebenſo geſchieht, ſo entſteht in B ein ſtark erleuchtetes Bild des Punktes A. Auf eben dieſer Eigenſchaft beruht die Zurückwerfung und Sammlung der Wellen, wie ſie in den früheren Vorleſungen angegeben iſt, und das Hören des Echo an dieſem beſtimmten Punkte.

Dieſe Eigenſchaft des elliptiſchen Spiegels hat Amici zur Darſtellung eines Bildes kleiner Gegenſtände benutzt, indem ſich leicht ergiebt, daß, wenn der Punkt A ein Bild in B darſtellt, auch die zunächſt liegenden Punkte auf ähnliche Weiſe Bilder geben, alſo den ganzen Gegenſtand, der allemal nur ſehr klein iſt, bei B im Bilde zeigen werden. Amici's Microſcop enthält nun am einen Ende des Rohres AB (VII. Fig. 34) einen elliptiſchen Spiegel E, der nämlich durch Umdrehung eines um den Scheitel liegenden Theiles der Ellipſe um die Axe ebenſo entſteht, wie die Kugelfläche durch die Umdrehung eines Kreiſes um ſeinen Durchmeſſer. Zwiſchen ſeinem nächſten Brennpunkte C und dem Scheitel E befindet ſich ein kleiner ebner Spiegel hi, und vor der Oeffnung neben L das zu beobachtende Object L. Nach dem Geſetze des ebnen Spiegels kommen die von L ausgehenden, von hi reflectirten Strahlen ſo auf den elliptiſchen Spiegel E, als ob ſie von dem Bilde C hinter dem Spiegel ausgingen, und das Object muß daher ſo geſtellt werden, daß ſein Bild genau mit dem Brennpunkte C zuſammentrifft. Iſt dieſes der Fall, ſo geben die auf den elliptiſchen Spiegel fallenden Strahlen ein Bild im zweiten Brennpunkte G, welches durch die Oculare genau ſo, wie das Bild in den gewöhnlichen

[1] Um die Ellipſe zu zeichnen, kann man den Kreis HIKLM (Fig. 33) zeichnen, gegen den Durchmeſſer HL eine Reihe ſenkrechter Linien ziehen und ihre zwiſchen dem Durchmeſſer und dem Kreiſe liegenden Theile alle in gleichem Verhältniſſe theilen, z. B. ND ebenſo gut = ⅔ NI, wie PQ = ⅔ PK machen; dann liegen dieſe Theilungspunkte D, Q auf dem Umfange der Ellipſe. Zieht man nun eine Senkrechte KP durch den Mittelpunkt P des Kreiſes, und nimmt den Halbmeſſer PL zwiſchen die Cirkelſpitzen, um damit von Q aus die Entfernungen QB = QA = PL aufzutragen, ſo ſind A, B die Brennpunkte der Ellipſe.

Microſcopen, betrachtet wird. Dieſes Microſcop gewährt den Vortheil, daß der Gegenſtand in L gar nicht ſo nahe an die Haupttheile des Inſtrumentes gerückt zu werden braucht, und daß er immer an ſeiner Stelle bleibt, wenn man auch in M neue Oculare anſchraubt, ſtatt daß bei den dioptriſchen Microſcopen das dem Gegenſtande allemal ſehr nahe Objectivglas verändert werden muß, wenn man die bedeutendſten Aenderungen der Vergrößerung hervorbringen will. Die vorzüglich gelungene Ausführung, die Amici dieſem Inſtrumente zu geben gewußt hat, iſt nun freilich wohl der Hauptgrund der günſtigen Reſultate, die dieſes Inſtrument geliefert hat; aber auch in der Anordnung ſelbſt liegen allerdings Vorzüge, die ſehr bedeutend ſind, zum Beiſpiel der, daß der Gegenſtand ½ Zoll von der Röhrenwand ganz frei ſtehend der Beleuchtung viel beſſer ausgeſetzt iſt, als ein dem Objectivglaſe ſo nahe gerückter Gegenſtand, wie man ihn bei dioptriſchen Microſcopen und ſtarker Vergrößerung nothwendig aufſtellen muß. Den Umſtand, der von der Farbenzerſtreuung abhängt, daß nämlich der Spiegel keine Farbenzerſtreuung giebt, kann ich hier nur obenhin erwähnen.

Das Fernrohr.

Auch die Wirkung der Fernröhre beruht auf einer zweckmäßigen Zuſammenſtellung mehrerer Linſen. Schon die erſte Erfindung derſelben zog ſchnell die Aufmerkſamkeit der Welt auf ſich, und eben dadurch, daß in ſehr kurzer Zeit ihre einfache Conſtruction von mehrern Künſtlern aufgefaßt und nachgeahmt wurde, ſcheint die genaue Kunde, wer der erſte Erfinder geweſen iſt, beinahe verloren gegangen zu ſein. Brillenmacher in Middelburg (ob Johann Lippersheim oder Zacharias Janſſen [Johanns Sohn] oder Metius, iſt nicht ganz entſchieden) haben zuerſt, ſchon vor 1609, Fernröhre verfertigt; Galiläi erhielt von dieſer Kunſt, durch Gläſer entfernte Gegenſtände deutlicher zu ſehen, Nachricht, und erfand nun durch eigenes Nachdenken 1609 im April oder Mai die Einrichtung, die noch jetzt das Galiläiſche Fernrohr heißt; aber ſchon in eben dem Jahre ſcheint man in London ſich ſo viel mit ihrer Verfertigung beſchäftigt zu haben, daß man ſie zum Verkauf ausbot. Das Erſtaunen, welches dieſe Kunſt, Gegenſtände auf der Erde beſſer zu ſehen und am Himmel ganz neue Gegenſtände zu entdecken, hervorgebracht haben mag, kann indeſſen kaum größer geweſen ſein, als das Erſtaunen, mit welchem wir in unſern Tagen die großen Verbeſſerungen kennen gelernt haben, die Herſchel den Spiegelteleſcopen, Fraunhofer den dioptriſchen Fernröhren gegeben hat, von deren Erfolg ich Ihnen bald mehr ſagen werde.

Das aſtronomiſche Fernrohr.

Wenn man Fernröhre aus zwei Gläſern machen will, ſo bietet ſich uns, als ſich anſchließend an die ſchon angeſtellten Betrachtungen, dasjenige Fernrohr zuerſt dar, welches man jetzt das Kepler'ſche oder aſtronomiſche nennt. Es iſt nämlich gewiß, daß ein dem Einfallen der Lichtſtrahlen von einem ſehr

entfernten Gegenſtande ſenkrecht dargebotenes Linſenglas, das Objectiv, auch von dieſem ein Bild, und zwar ganz nahe am Brennpunkte oder im Brennpunkte ſelbſt, darſtellen wird, und daß wir dieſes ſeiner Kleinheit wegen nicht bequem mit bloßem Auge wahrzunehmende Bild deutlich ſehn müſſen, wenn wir es durch ein zweites Linſenglas, das Ocular, vergrößert ſehen. Dieſe Zuſammenfügung zweier Linſen giebt das aſtronomiſche Fernrohr, bei welchem wir zuerſt den Grund, warum man entfernte Gegenſtände deutlich ſieht, dann warum man ſie vergrößert ſieht, näher betrachten wollen.

Um die erſte Frage zu beantworten, brauche ich nur die von einem einzigen, ſehr entfernten Punkte ausgehenden Strahlen S A, s B, die parallel auf das Objectivglas b A B (VIII. Fig. 2) fallen, zu zeichnen und Sie zu erinnern, daß dieſe im Brennpunkte F ſich vereinigen und nun von ihm ausgehend das Augenglas D E ſo erreichen, daß, wenn auch dieſes ſeinen Brennpunkt in F hat, ſie parallel aus dem Augenglaſe hervorgehen, alſo dem Auge O den entfernten Punkt deutlich zeigen, wenn das Auge gewohnt iſt, entfernte Gegenſtände deutlich zu ſehen; aber die Gegenſtände erſcheinen auch vergrößert. Wenn nämlich S T einen ſehr entlegenen Gegenſtand andeutet, der einem in A ſtehenden Auge unter dem Sehewinkel S A T erſcheinen würde, ſo ſtellt ſich von dieſem um den Brennpunkt F ein ſolches Bild dar, das dem ebenſo großen Sehewinkel F A t entſpricht. Alle mit S A parallel einfallenden Strahlen kommen in F, alle mit T A parallel einfallenden in t zuſammen, und jene wie dieſe gelangen, indem ſie durch dieſe Vereinigungspunkte durchgehen, auf das Augenglas D E, wo die erſtern ſowohl als die letztern in eine unter ſich parallele Richtung gebrochen werden, alſo die von F kommenden nach D o, F O, E o, die von t kommenden nach E O, t P fortgehen. Die erſtern Richtungen D o, F O, E o ſind wir ſchon gewohnt, als mit der Axe des Fernrohrs parallel anzuſehen, indem wir, weil F der wahre Brennpunkt iſt, die von ihm ausgehenden Strahlen als der Axe des Glaſes parallel werdend kennen; die in t geſammelten Strahlen erreichen ebenfalls, ſo weit die Größe des Augenglaſes es geſtattet, das Augenglas; derjenige unter ihnen, welcher durch die Mitte des Augenglaſes geht, kömmt faſt durchaus ungebrochen, alſo in der Richtung t P an der andern Seite des Glaſes an, und mit ihm parallel gehen die übrigen von t ausgehenden, durch den Punkt t als Vereinigungspunkt durchgegangenen Strahlen aus dem Augenglaſe hervor. Befindet ſich alſo ein Auge in O, ſo ſieht es den Punkt F oder den Gegenſtand S durch die Mitte des Glaſes, den Punkt t oder den Gegenſtand T durch einen gegen den Rand des Augenglaſes hin liegenden Punkt E; beide Gegenſtände erſcheinen deutlich, weil die von einem Punkte ausgegangenen Strahlen nach den Brechungen parallel ins Auge kommen; ſie erſcheinen um den Sehewinkel E O K von einander entfernt, der mit t K F gleich groß iſt, weil E O und t K parallel ſind.

Mit Rückſicht auf das im Anfange der Vorleſung ausgeſprochene Geſetz und die früheren Erörterungen über die Wirkung einfacher Linſen könnten wir, ohne die Richtung der einzelnen Strahlen zu verfolgen, auch ſo ſchließen.

In tF ſtellt ſich von dem entfernten Gegenſtande ein wirkliches umgekehrtes Bild dar, dieſes wird durch die Linſe ED, von der es faſt um die Brennweite abſteht, betrachtet, und alſo ſtatt ſeiner ein ſcheinbares, entfernteres Bild geſehen, welches ebenſo groß erſcheint, als das Bild tF aus K betrachtet erſcheinen würde. Der Geſichtswinkel tKF giebt alſo an, wie groß der Beobachter durch das Fernrohr den Gegenſtand ſieht, der Winkel tAF giebt an, wie groß er ohne Fernrohr erſcheinen würde, und da dieſe Winkel ſich ihrer Kleinheit wegen faſt genau verhalten wie die Linien FA und FK, d. h. wie die Brennweite des Objectivs und die Brennweite des Oculars, ſo folgt hieraus, daß man den Gegenſtand ſovielmal vergrößert ſieht, als die Brennweite des Oculars in der des Objectivs enthalten iſt. Hiernach wird daher eine ſehr ſtarke Vergrößerung am leichteſten dann zu erhalten ſeyn, wenn die Brennweite des Objectivs ſehr groß iſt, und bei den ehemals von Huyghens und Andern gebrauchten Gläſern von 100 Fuß Brennweite hätte ein Ocular von 1 Zoll Brennweite eine 1200malige Vergrößerung im Durchmeſſer hervorgebracht, ſo daß die Vergrößerung faſt unbegrenzt ſcheinen könnte, wenn nicht noch andre Umſtände in Betrachtung zu ziehen wären.

Außer der Vergrößerung, welche ein Fernrohr gewährt, läßt ſich aus dem Wege der Lichtſtrahlen auch noch die Größe des Geſichtsfeldes beſtimmen. Wir überſehen mit dem Fernrohre nur einen ſehr beſchränkten Raum auf einmal; dieſer Raum iſt es, den wir das Geſichtsfeld nennen. Um die Größe deſſelben zu beſtimmen, braucht man nur zu bedenken, daß die durch die Mitte des Objectivs BAb einfallenden Strahlen, die am weſentlichſten beitragen, um den Gegenſtand gut zu ſehen, ganz unnütz bleiben, wenn ſie das Augenglas nicht mehr treffen, daß man alſo nur diejenigen durch die Mitte des Objectivglaſes einfallenden Strahlen noch gebrauchen kann, die in der vom Rande des Oculars nach der Mitte des Objectivs gezogenen, über das Objectiv hinaus verlängerten graden Linie liegen. Daraus folgt, daß der Winkel EAK, oder die ſcheinbare Größe des halben Oculars von A aus geſehen, der Halbmeſſer des Geſichtsfeldes iſt. Um dieſe durch die Mitte des Objectivs gehenden Strahlen alle mit dem Auge aufzufangen, muß man das Auge in O, etwas weiter vom Augenglaſe entfernt halten, als die Brennweite KF angiebt, nämlich da, wo die nach dem Rande E gezogene EO mit tK parallel iſt. Hiernach wäre es vortheilhaft, ſich eines ziemlich großen Oculars zu bedienen, damit das Geſichtsfeld groß würde; aber wenn die Vergrößerung nicht zu gering ſeyn ſoll, ſo muß die Brennweite KF klein und eben darum auch die Breite des Oculars gering ſeyn, weil man ſich bei kleinen Brennweiten auch nur kleiner Theile der Kugelflächen für die Oberflächen der Gläſer bedienen darf. Hierin liegt alſo ein Grund, warum man bei einer größern Brennweite des Oculars ein größeres Geſichtsfeld, aber auch nur eine ſchwächere Vergrößerung erhalten kann und zum Beiſpiel bei ſtärkeren Vergrößerungen ſehr gewöhnlich den Mond nicht ganz überſieht, während bei ſchwachen Vergrößerungen ein weit größerer Raum auf einmal beobachtet werden kann.

Noch einige Bemerkungen, die dieſes Fernrohr betreffen, kann ich nicht wohl übergehen; ich werde aber das, was in ähnlicher Beziehung bei den übrigen Einrichtungen der Fernröhre angeführt werden könnte, dort nicht wiederholen, indem ſich dort das hier Geſagte leicht anwenden laſſen wird. Die erſte dieſer Bemerkungen betrifft die Frage, wie ein Kurzſichtiger das Fernrohr anwenden muß, um entfernte Gegenſtände deutlich mit demſelben zu ſehen. Die Einrichtung aller Fernröhre iſt ſo, daß man das Augenglas ein wenig mehr dem Objective nähern oder es davon entfernen kann, und Sie können ſich leicht überzeugen, daß der Kurzſichtige das Ocular ein wenig hineinſchieben muß. Schon bei dem einfachen Linſenglaſe, wenn wir es als Vergrößerungsglas gebrauchen, habe ich bemerkt, daß der Kurzſichtige das Glas etwas näher an den Gegenſtand rücken muß, damit er die von einem Punkte, der näher als die Brennweite liegt, ausgehenden Lichtſtrahlen etwas divergirend empfange, das heißt ſo, wie Lichtſtrahlen, die von einem ziemlich nahen Gegenſtande ausgehen. Was dort der dem Vergrößerungsglaſe näher zu rückende Gegenſtand war, das iſt hier das Bild im Brennpunkte des Objectivs, und dieſem nähert man das Ocular, um einem Kurzſichtigen ein deutliches Bild zu zeigen.

Die zweite Bemerkung betrifft die Veränderung, die man in der Stellung des Oculars vornehmen muß, um nähere Gegenſtände, die vielleicht nur 200 Fuß entfernt ſind, deutlich zu ſehen. Dieſe fordern, daß man das Ocular weiter herausziehe, damit das Ocular gegen das Bild des nähern Gegenſtandes eben die Stellung, wie vorhin für das Bild des entferntern Gegenſtandes erhalte; das Bild des nähern Gegenſtandes liegt nämlich, wie wir geſehen haben, weiter vom Objectivglaſe entfernt, als das Bild des entfernteren, man muß daher auch das Ocular immer weiter herausziehen, je näher der zu beobachtende Gegenſtand iſt.

Eine dritte Bemerkung betrifft die Abmeſſung oder Schätzung der Vergrößerung. Man hört oft von denen, die ſelten ein Fernrohr gebrauchen, die Bemerkung, daß ſie, durch das Fernrohr ſehend, den Mond gar nicht ſo erheblich vergrößert ſehen und daß ſie ſich die Vergrößerung auffallender gedacht haben. Dieſes Urtheil findet nur ſtatt, wenn dem durch das Fernrohr ſehenden Auge alle Vergleichung mit den ohne Vergrößerung geſehenen Gegenſtänden fehlt. Wer ſich daher von der Stärke der Vergrößerung auch nur obenhin überzeugen will, dem muß man anrathen, während er mit dem einen Auge den Mond im Fernrohre deutlich ſieht, das andre Auge zu öffnen und Achtung zu geben, daß das Bild des Mondes in jenem Auge eine ganze Wand, die das andre Auge wahrnimmt, zu bedecken ſcheint. Dieſes Mittel, das auch bei Gegenſtänden auf der Erde anzuwenden iſt, kann ſogar zu Beſtimmung des Grades der Vergrößerung dienen, wenn man den Sehewinkel, unter welchem ſo das Bild im Fernrohre erſcheint, ungefähr abzumeſſen ſucht. Bei Vergrößerungen, die nicht viel über das Zwanzigfache gehen, pflegt man dieſes Mittel auch wohl ſo anzuwenden, daß man mit dem einen Auge durch das Fernrohr, mit dem andern unbewaffneten Auge zugleich nach einem Ziegeldache

ſieht; dann ſieht man das vergrößerte Bild einzelner Ziegel vor dem mit dem freien Auge geſehenen Dache ſchweben und gewöhnt ſich bei einiger Uebung leicht, beide Erſcheinungen ſo wahrzunehmen, daß man ſtreng angeben kann, daß zum Beiſpiel drei vergrößerte Ziegel die ganze Länge des Daches ſcheinbar bedecken; findet man nun, daß das Dach 60 Ziegel enthält, alſo die natürliche ſcheinbare Größe von 60 Ziegeln der vergrößerten von drei Ziegeln gleich iſt, ſo vergrößert das Fernrohr 20 mal. Zu genaueren Meſſungen der Vergrößerung kann man ein ähnliches Mittel wie bei den Microſcopen anwenden.

Um einem Beobachter, der an Fernröhre nicht gewöhnt iſt, die Güte eines Fernrohres deutlich zu machen, iſt es nur in den ſeltenſten Fällen rathſam, ſein Auge auf einen Meilen weit entfernten Gegenſtand zu richten; das recht geübte Auge erkennt hier wohl die Wirkung des Fernrohres, aber da die Dünſte in der Luft meiſtens das recht ſcharfe Sehen hindern, ſo werden kleine Theile der Gegenſtände nicht klar genug ſichtbar, um von dem Ungeübten in dem minder hellen Bilde wahrgenommen zu werden. Richtet man dagegen das Fernrohr auf einen Gegenſtand, der etwa eine halbe Stunde entfernt iſt, und läßt den Beobachter zuerſt mit dem bloßen Auge wahrnehmen, welche Theile der Häuſer, Bäume u. ſ. w. er noch erkennt, und ihn dann durch das Fernrohr blicken, ſo wird er gewiß bekennen, daß er nun Gegenſtände ſehe, die ihm vorher ganz unkenntlich, ja völlig unſichtbar waren; er ſieht bei 20maliger Vergrößerung die Gegenſtände in 10000 Fuß Entfernung beinahe ſo gut, wie er ſie mit bloßem Auge in 500 Fuß Entfernung ſehen würde, und würde ſie vollkommen ſo gut ſehen, wenn nicht einiger Lichtverluſt theils in der Luft bei größern Entfernungen, theils beim Durchgange durch die Gläſer ſtatt fände.

Das Galiläiſche oder holländiſche Fernrohr.

Das bisher betrachtete, nur aus zwei Gläſern zuſammengefügte Fernrohr würde allen Forderungen ſehr wohl entſprechen, wenn es nicht die Gegenſtände umgekehrt zeigte; denn ſo wie das wirkliche, durch ein Linſenglas hervorgebrachte Bild allemal umgekehrt iſt, ſo muß es auch hier, wo wir ein ſolches Bild betrachten, ſeyn; der Lichtſtrahl tEO (VIII. Fig. 2) kömmt vom obern Theile des Augenglaſes ins Auge, obgleich der Gegenſtand T unterhalb S liegt. Dieſe Unbequemlichkeit hindert den Aſtronomen nicht, der überdieß bei oftmaliger Beobachtung ſich ganz an dieſe Umkehrung der Lage gewöhnt; aber bei irdiſchen Gegenſtänden iſt ſie ſtörend. Man kam daher bei Erfindung der Fernröhre zuerſt auf diejenigen, die mit zwei Gläſern ein aufrechtes Bild geben, und in der neueren Zeit hat man Zuſammenfügungen aus mehreren Gläſern erfunden, um den geſehenen Gegenſtand aufrecht zu ſehen.

Jenen erſten Zweck, durch zwei Gläſer die Gegenſtände in der richtigen Stellung zu ſehen, erreicht man durch das holländiſche oder Galiläiſche Fernrohr, — dasjenige, welches zuerſt erfunden worden iſt. Dieſes beſteht zwar auch aus einem convexen Objectivglaſe, aber aus einem concaven Oculare. Das letztere ſteht dem erſteren näher als das hervorgebrachte Bild, und das Auge

ſieht den Gegenſtand durch Strahlen, die noch nicht zu einem Bilde vereinigt worden ſind. Wenn nämlich zuerſt nur (VIII. Fig. 3) von Strahlen, die mit der Axe CD des Objectives parallel einfallen, die Rede iſt, ſo erhellt, daß, wenn ſie, gegen den Brennpunkt D zuſammengehend, ſchon vorher von dem Hohlglaſe EG aufgefangen werden und dieſes ſo ſteht, daß D ſein Zerſtreuungspunkt iſt, dieſe Strahlen aus dem letztern parallel hervorgehen und nun kein Bild bei D bilden, aber dem Auge in O, wenn es durch parallele Strahlen deutlich ſieht, eine deutliche Darſtellung des in der Richtung CS liegenden Punktes gewähren. Um zu überſehen, daß die Gegenſtände durch dieſe Verbindung zweier Gläſer aufrecht in ihrer wahren Stellung erſcheinen, dienen folgende Ueberlegungen. Wenn TC ein Lichtſtrahl iſt, der von einem unterwärts S ſehr entfernt liegenden Punkte ausgeht, ſo gehn alle von ihm kommenden, unter ſich parallelen Strahlen nach ihrer Brechung im Objectivglaſe dem Punkte d zu, wo ſie ſich ſammeln würden, wenn ſie ihn erreichten. Aber aufgefangen von dem Oculare EG, gelangt der durch die Mitte des Oculars gehende Strahl HO ohne neue Brechung zum Auge, und für die angenommene Stellung des Oculars werden auch die übrigen Strahlen, die von T kommen, mit HO parallel, die von S kommen, mit SD parallel hervorgehen. Das Auge in O ſieht mithin den Punkt T in der Richtung OH, den Punkt S in der Richtung OS, jenen alſo unterhalb S, der wirklichen Lage entſprechend, folglich den Gegenſtand aufrecht. Auch hier iſt die Vergrößerung durch das Verhältniß der Brennweite CD zur Zerſtreuungsweite OD ausgedrückt, alſo zum Beiſpiel 10fach, wenn jene 10mal ſo groß als dieſe iſt. Dieſes Fernrohr hat die Unbequemlichkeit, nur ein kleines Geſichtsfeld darzubieten, welches noch dazu ſehr abnimmt, wenn man das Auge etwas weiter von dem Augenglaſe entfernt Man wendet es deshalb jetzt nur noch da an, wo man mit 3 oder 4maliger Vergrößerung zufrieden iſt, indem hier das Augenglas ziemlich breit und dabei das Geſichtsfeld hinreichend groß werden kann. Solche ſchwach vergrößernde Fernröhre ſind die kurzen Fernröhre, deren man ſich im Theater und in andern Fällen bedient, wo man in nicht große Fernen ſehr ſcharf ſehen will.

Das Erdfernrohr.

Für ſtärkere Vergrößerungen gebraucht man lieber ein mit mehreren Ocularen verſehenes Fernrohr, das man das Erdfernrohr nennt. Es kann drei oder vier Gläſer, in der Ocularröhre verbunden, enthalten; da aber unſre gewöhnlichen Fernröhre vier zu enthalten pflegen, ſo will ich darauf meine Erklärung einrichten. Wenn man ein Fernrohr, das ungefähr 24 Zoll Länge hat, ſobald es zum Sehen in die Ferne gehörig ausgezogen iſt, aus einander nimmt, ſo findet man in der vordern Zugröhre vier Gläſer, die alle convex ſind und die man ſämmtlich Oculare nennt. Sie behalten ihre Lage gegen einander unverändert, können aber dem Objective genähert oder von demſelben entfernt werden; ich will ſie nach ihrem Abſtande vom Objective das erſte,

zweite, dritte, vierte nennen, ſo daß das vierte am Auge gehalten wird. Iſt das Fernrohr richtig ausgezogen, ſo daß ein gut in die Ferne ſehendes Auge entfernte Gegenſtände deutlich ſieht, ſo liegt bei dieſem Fernrohre das durch das Objectiv hervorgebrachte umgekehrte Bild ganz nahe vor dem erſten Oculare. Da es dieſem Glaſe näher liegt, als der Brennpunkt, ſo behalten die von einem Punkte des Bildes ausgehenden Strahlen auch an der andern Seite des Glaſes noch eine divergirende Richtung, jedoch mit geringerer Divergenz, als vor dem Glaſe. Das zweite Ocular fängt ſie auf und macht ſie convergent, aber noch ehe ſie ſich vereinigen, fängt das dritte Ocular ſie auf, um ſie noch mehr convergent zu machen und in einem Sammelpunkte zu vereinigen. Hier ſtellt ſich alſo ein Bild dar und zwar ein umgekehrtes Bild des erſten Bildes, alſo ein aufrechtes Bild des Gegenſtandes, und dieſes befindet ſich im Brennpunkte des letzten Oculars, ſo daß es dem durch dieſes Ocular blickenden Auge deutlich erſcheint. Jetzt ſieht alſo der Beobachter den Gegenſtand aufrecht. In welchem Maaße er hier vergrößert erſcheint, das will ich nicht zu entwickeln verſuchen, da es eine zu genaue Verfolgung des Ganges der Strahlen fordern würde. Wenn man den Gang der Strahlen genau zeichnet, ſo zeigt ſich, daß alle brauchbaren Strahlen nahe vor dem zweiten Ocular ſehr nahe zuſammen kommen; deshalb liegt hier die ſchon bei den Microſcopen erwähnte enge Oeffnung (Blendung, Diaphragma), die nur den hier eng vereinigten nutzbaren Strahlen den Durchgang zum Auge offen läßt. — Die Vortheile, welche dieſe Zahl und Stellung der Augengläſer gewährt, kann ich hier nicht weiter auseinanderſetzen; einer derſelben iſt eine größere Ausdehnung des Geſichtsfeldes bei gleicher Vergrößerung. Einige andre Bemerkungen über die Lichtſtärke der Fernröhre will ich nachher noch anführen.[1]

Das Spiegelteleſcop.

Ein ſehr wichtiges Werkzeug, um entfernte Gegenſtände größer zu ſehen, iſt das Spiegelteleſcop. Warum es von Newton empfohlen wurde, das will ich jetzt, weil es mit der Lehre von den Farben zuſammenhängt, nicht erwähnen, ſondern nur ſeine Einrichtung beſchreiben und von dem Vortheile, den ein ſehr großer Spiegel, viel größer als die Objective unſrer Refractoren[2] ſeyn können, gewährt oder zu gewähren beſtimmt iſt, Ihnen das Wichtigſte mittheilen.

Die Einrichtung des Spiegelteleſcopes würde ganz einfach nur die Betrachtung eines durch den Hohlſpiegel entſtandenen Bildes fordern, wenn nicht dabei die Schwierigkeit einträte, daß das Bild vor dem Hohlſpiegel entſteht und daß der dieſes Bild vermittelſt eines Oculars betrachtende Beobachter vor dem Spiegel ſtehend den aus der Ferne kommenden Strahlen den Weg zum Spiegel

[1] Prechtl's practiſche Dioptrik (Wien 1828) enthält alle bei Fernröhren vorkommende Betrachtungen mit Vorausſetzung mäßiger mathematiſcher Vorkenntniſſe ſehr deutlich dargeſtellt.

[2] Refractoren nennt man nämlich die aus bloßen Linſengläſern zuſammengeſetzten Fernröhre, Reflectoren die Spiegelteleſcope.

unterbräche; dieſer Umſtand hat es nöthig gemacht, in den meiſten Fällen zwei Spiegel anzuwenden.

Bei dem Gregorianiſchen Teleſcop geſchieht dieß ſo, daß dem größeren Hohlſpiegel AB gegenüber ein kleiner Hohlſpiegel CD (VIII. Fig. 4) ſteht; dieſer letztere hindert zwar für einige von SS her einfallende Strahlen den Zutritt zum Spiegel AB, aber da er nur klein zu ſeyn braucht, ſo iſt der dadurch verurſachte Verluſt an Licht nicht ſehr erheblich. Der große Spiegel giebt in st ein umgekehrtes Bild des Gegenſtandes, und die durch die Vereinigungspunkte dieſes Bildes gegangenen Strahlen erreichen den zweiten Hohlſpiegel, deſſen Stellung ſo gewählt iſt, daß ein Gegenſtand in st ein vergrößertes Bild in uv geben würde und folglich auch das Bild st ein vergrößertes Bild uv hervorbringt. Damit die Strahlen dorthin gelangen können, hat der große Spiegel eine Oeffnung in der Mitte, die mit einer convexen Linſe geſchloſſen iſt, um die nach dem Bilde uv zu gehenden Strahlen früher zu vereinigen und ſchon in wx das Bild hervorzubringen, welches dann mit dem Oculare FG betrachtet wird und, wie aus dem Vorigen erhellt, vergrößert erſcheint oder den Gegenſtand unter einem größern Sehewinkel darſtellt.

Das Newton'ſche Teleſcop enthält, um den großen Spiegel nicht zu durchlöchern und ſo den beſten Theil des Spiegels aufzuopfern, einen kleinen ſchiefſtehenden ebnen Spiegel cd (VIII. Fig. 5) in der Nähe der Gegend, wo das Bild aus dem großen Spiegel IK entſtehen ſollte. Der kleine Spiegel empfängt die Strahlen, ehe ſie ſich in den einzelnen Punkten des Bildes mn vereinigt haben, wirft ſie aber, wie Ihnen aus früheren Betrachtungen bekannt iſt, genau ſo zurück, als wenn ſie wirklich von dem Bilde ausgingen; ſie ſtellen daher, vom Spiegel reflectirt, vor demſelben in pq das Bild dar, welches durch ſeitwärts angebrachte Oculare AB betrachtet wird und vergrößert erſcheint. Dieſer Anordnung gemäß machte auch Herſchel ſeine erſten Spiegelteleſcope; er fand aber nachher, daß man bei ſehr großen Hohlſpiegeln den kleinen ebnen Spiegel ganz weglaſſen kann, indem bei einer etwas von der Richtung nach dem zu beobachtenden Objecte abweichenden Lage der Axe das Bild eines in der Richtung Dc liegenden Gegenſtandes ſich in M darſtellt und dann durch Oculare, die in der Richtung der Röhre EF liegen, betrachtet werden kann.

Lichtſtärke. Raumdurchdringende Kraft.

Die Spiegelteleſcope ſind nicht allein zu einer ſtarken Vergrößerung ſehr geeignet, indem die Vergrößerung hier wieder deſto ſtärker iſt, je öfter die Brennweite eines einfachen Oculars in der Brennweite des Spiegels enthalten iſt, ſondern ſie gewähren auch eine ſehr große Lichtſtärke. Ueberhaupt muß, wie Sie aus dem Vorigen gewiß überſehen, die Erleuchtung des Bildes, es mag nun durch ein Linſenglas oder durch einen Hohlſpiegel hervorgebracht werden, deſto ſtärker ſeyn, je mehrere auf dem Glaſe oder in dem Spiegel aufgefangene Strahlen ſich in jedem Punkte des Bildes vereinigen; ſo lange alſo, als die in einem Punkte des Bildes vereinigten Strahlen nach ihrem Durchgange

durch das Ocular alle zum Auge kommen und ſich nicht über einen größern Raum, als die Oeffnung des Auges iſt, ausbreiten, iſt es vortheilhaft, einen großen Spiegel oder ein großes Objectiv anzuwenden. Dieſe nach dem Maaße des aufgefangenen Lichtes ſteigende Erleuchtung des Bildes oder die daraus hervorgehende ſtarke Erleuchtung des auf der Netzhaut im Auge entſtehenden Bildes iſt vorzüglich da nützlich und wirkſam, wo der Gegenſtand ſo klein iſt, daß er der Vergrößerung ungeachtet noch immer nur ein Bild von unmerklicher Größe auf der Netzhaut darſtellt, indem da alles geſammelte Licht zur Erleuchtung dieſes einzigen Punktes im Auge beiträgt. Die Fixſterne ſind, wie Sie wiſſen, großentheils ſo lichtſchwach, daß unſer Auge ſie deshalb gar nicht gewahr wird; aber wenn das wenige Licht, welches ſie uns zuſenden, auf einem Objectivglaſe von 9 Zoll Durchmeſſer oder auf einem großen Spiegel geſammelt und in einem einzigen Punkte der Netzhaut vereinigt wird, ſo iſt der Lichtreiz ſtark genug, um ſelbſt ſehr kleine Sterne noch zu erkennen. Herſchel hat dieſe Stärke der Fernröhre ihre raumdurchdringende Kraft genannt, indem es ganz gewiß richtig iſt, daß ein Stern ſechster Größe, den ein gutes Auge bei recht heiterem Himmel in dunkler Nacht noch erkennt, gewiß unkenntlich für das bloße Auge werden würde, wenn er doppelt ſo weit von uns hinausrückte, alſo nur ein Viertel ſo viel Licht auf unſer Auge ſendete, daß er aber wieder kenntlich werden muß, wenn ein Fernrohr viermal ſo viel Lichtſtrahlen vereinigt; — ein ſolches Fernrohr hätte alſo doppelt ſo viel raumdurchdringende Kraft, als das bloße Auge. Wenn alles vom Hohlſpiegel aufgefangene Licht ungeſchwächt zurückgeworfen und alles vom Objectivglaſe aufgefangene Licht vollkommen durchgelaſſen würde, ſo könnte man hiernach dieſe raumdurchdringende Kraft leicht berechnen; aber die beſten Spiegel werfen nur ungefähr $^{13}/_{20}$ des empfangenen Lichtes zurück, und wenn von dieſen $^{13}/_{20}$, die der große Spiegel zurückgiebt, abermals nur $^{13}/_{20}$ am kleinen Spiegel reflectirt werden, ſo iſt dieſe Lichtmenge nur $^{17}/_{40}$ (eigentlich $^{169}/_{400}$) der einfallenden, ſo daß ein Spiegel, der 400 mal ſo viel Fläche hat, als die Oeffnung der Pupille des Auges, doch nur eine 170 mal ſo große Lichtmenge in denſelben Punkt vereinigt, alſo 13 mal ſo viel raumdurchdringende Kraft als das bloße Auge beſitzt, wenn man den Verluſt bei dem Durchgange durch das Ocular nicht beachtet. Hierauf gründet ſich Herſchel's Angabe, daß ein 4zolliger Spiegel eine 13 fache, ein $6^1/_3$ zolliger Spiegel eine 20 fache raumdurchdringende Kraft hat. Bei den großen Fernröhren, wo der kleine Spiegel wegfällt, z. B. bei der 24 zolligen Oeffnung eines Spiegels von 25 Fuß Brennweite, würden, weil man die Oeffnung der Pupille = $^1/_5$ Zoll, alſo nur zu $^1/_{120}$ des Durchmeſſers dieſes Spiegels annimmt, 120 . 120 = 14400 mal ſo viele Strahlen aufgefangen, als im bloßen Auge; davon werden $^{13}/_{20}$, alſo 9360 mal ſo viele als im bloßen Auge im Brennpunkte vereinigt, und in eben dem Maaße wächſt, abgeſehen von dem Verluſte in den Ocularen, die Erleuchtung des Bildes im Auge. Würde ein Stern ſechster Größe 96 mal ſo weit hinaus gerückt, als wo er ſich jetzt befindet, ſo bekäme unſer Auge nur $^1/_{9216}$ des Lichtes,

das wir jetzt erhalten, und da jenes Fernrohr 9360 mal ſo viel Licht ſammelt, als das bloße Auge, ſo hat es reichlich eine 96 fache raumdurchdringende Kraft. Die Refractoren leiſten ſchon bei viel geringerem Durchmeſſer der Objective ſehr viel, weil ſie das Licht weniger ſchwächen. Nimmt man an, daß ſie $^9/_{10}$ des empfangenen Lichtes durchlaſſen; ſo würde ein Objectiv von 9 Zoll Oeffnung etwa 45 . 45 = 2025 mal ſo viel Licht als das bloße Auge empfangen, etwa 1820 mal ſo viel durchlaſſen, alſo etwa die 42$^3/_4$ malige raumdurchdringende Kraft haben. Die Beobachtungen mit dem Fraunhofer'ſchen Fernrohre in Dorpat ſcheinen eine noch weit vortheilhaftere Vergleichung in Beziehung auf Spiegelteleſcope zu geben, ſo daß man den Lichtverluſt bei den Spiegeln wohl noch größer anſetzen müßte.

In eben dem Maaße, wie wir hier berechnet haben, wird allerdings auch das geſammte Licht, das im Bilde eines größer erſcheinenden Gegenſtandes vereinigt iſt, verſtärkt; aber hier iſt die Erleuchtung, die jedem Punkte des Bildes im Auge zu Theil wird, geringer. War zum Beiſpiel in dem vorhin angeführten 25 fußigen Spiegelteleſcope 9260 mal ſo viel Licht geſammelt, als bei einer der Pupille gleichen Oeffnung ſtatt fände, aber der Gegenſtand erſchiene unter einem 100 mal ſo großen Sehewinkel, ſein Bild nähme (was daſſelbe iſt) den 10000 fachen Raum auf der Netzhaut ein, in Vergleichung gegen den bei unbewaffnetem Auge durch das Licht gereizten Raum, ſo iſt die Erleuchtung für jeden einzelnen Punkt des Bildes nur $^{926}/_{1000}$ deſſen, was ſie ohne Inſtrument war; nehmen wir eine 200 malige Vergrößerung, ſo iſt dieſe Intenſität der Lichterſcheinung in jedem Punkte nur $^{926}/_{4000}$ oder $^{231}/_{1000}$ und nimmt mit jeder ſtärkeren Vergrößerung ab. Daß wir deſſen ungeachtet mit einem ſehr lichtſtarken Inſtrumente auch ſchwach erleuchtete Gegenſtände beſſer erkennen, iſt gleichwohl richtig, indem bei ſchwacher Erleuchtung doch die unter größerem Sehewinkel erſcheinenden Gegenſtände beſſer geſehen werden. Wenn ein Inſtrument wenig Lichtſtärke hat, ſo wird man aller Vergrößerung ungeachtet bei anfangender Dämmerung die Gegenſtände nicht mehr unterſcheiden, weniger ſogar als mit bloßem Auge; bei einem lichtſtarken Inſtrumente wird der Dienſt, den das Inſtrument uns, ſelbſt bei anfangender Dämmerung, leiſtet, merklich werden, indem zwar die Erleuchtung eines jeden Punktes des Bildes ſchwächer als bei bloßem Auge iſt, aber nicht in dem Maaße, daß nicht der Vortheil der Vergrößerung das Uebergewicht behielte.

Photometriſche Anwendungen.

Auf dieſe Berechnung der Helligkeit des Bildes im Auge beruht ein von Herſchel angewandtes Mittel, den Glanz der Sterne zu vergleichen. Hat man nämlich zwei gleiche Fernröhre, die denſelben Stern, ſo gut das bald durch das eine, bald durch das andre Fernrohr blickende Auge es zu ſchätzen im Stande iſt, genau gleich zeigen, ſo richtet man nun das eine auf einen kleineren Stern, während das andre auf einen größern gerichtet bleibt; man verkleinert alsdann durch vorgelegte Ringe die Oeffnung des andern ſo weit,

bis der hellere Stern durch dieſes geſehen dem dunkleren Sterne durch jenes geſehen gleich iſt. Fände ſich nun, daß die Oeffnung nur den halben Durchmeſſer, alſo das Viertel der Größe, behalten hätte, ſo würde man das Licht des minder helleren einem Viertel des Lichtes des helleren gleich ſchätzen und ſo ferner.

Steinheil hat ein ſehr vollkommenes, für denſelben Zweck beſtimmtes Photometer auf den Umſtand gegründet, daß man bei der Betrachtung eines Sternes im Fernrohre anſtatt eines ſcharfen Bildes einen erhellten Kreis ſieht, wenn die Gläſer von ihrer normalen für das Auge paſſenden Stellung abweichen, einen Kreis, der deſto größer, aber zugleich deſto lichtſchwächer wird, je größer dieſe Abweichung iſt. Durch einen kunſtvollen Apparat (in mancher Beziehung ähnlich dem ſpäter zu beſchreibenden Heliometer) wird bewirkt, daß man die beiden zu vergleichenden Sterne zugleich im Geſichtsfelde erblickt und daß man das Licht jedes einzelnen durch Blendungen beliebig ſchwächen kann. Hierauf werden die Gläſer ſo verſchoben und die Blendungen ſo weit geöffnet, daß die beiden undeutlichen und vergrößerten Bilder der Sterne gleich hell und, wenn man will, auch gleich groß erſcheinen; die hierzu erforderlichen Abweichungen der Gläſer von ihrer normalen Stellung, die an beſondern Eintheilungen abgeleſen werden, und die Weiten der Blendungen geben dann die Mittel zu einer genauen Vergleichung des geſammten Lichteindruckes.

Micrometer.

Mit den Fernröhren ſteht noch ein Gegenſtand in Verbindung, den ich jedoch nur kurz erwähnen will. Der Aſtronom will durch die Fernröhre nicht bloß ſehen, ſondern er will auch meſſen, er will die ſcheinbare Größe des geſehenen Gegenſtandes beſtimmen und daraus die wahre Größe berechnen. Zu dieſer Meſſung kleiner Winkel dienen die Micrometer. Schon da, wo man auch nicht zu meſſen beabſichtigt, pflegt ein Fadenkreuz im Felde des Fernrohrs ſeine Mitte zu bezeichnen, und dieſe Fäden befinden ſich genau da, wo das letzte Bild des Gegenſtandes ſich darſtellt, oder bei einem einfachen Oculare in dem Brennpunkte des Oculars. Das durch das Augenglas blickende Auge ſieht dieſe Fäden deutlich, und zugleich das Bild des Gegenſtandes, weil ſie ſich beide an derſelben Stelle befinden, an derjenigen nämlich, von wo die Strahlen ausgehen müſſen, um durch das Ocular gebrochen parallel in das Auge zu gelangen. Will man nun die Größe des dort entſtandenen Bildes meſſen, ſo kann dazu ein beweglicher Faden, parallel mit einem jener Kreuzfäden, dienen. Stellt man nämlich das Fernrohr ſo, daß der zu meſſende Planet, um nur ein Beiſpiel zu nehmen, den einen der Kreuzfäden berührt, und bringt man nun durch die zu dieſem Zwecke angebrachte Schraube den beweglichen Faden ebenfalls zur Berührung des im Fernrohr geſehenen Bildes, ſo daß der Planet zwiſchen beiden parallelen Fäden von ihnen berührt erſcheint, ſo ergiebt die Schraube, wie viele Schraubenumgänge weit die Fäden von einander abſtanden, folglich wie groß das Bild im Fernrohre war. Dieſe wahre Größe

des Bildes giebt die Größe des Sehewinkels, entweder durch die Berechnung des Ganges der Lichtſtrahlen im Fernrohre, oder durch Vergleichung mit einem auf der Erde in beſtimmter Entfernung beobachteten Gegenſtande, deſſen ſcheinbare Größe man kennt und mit den Angaben des Micrometers vergleicht. Mit dieſer Einrichtung ſtimmen die meiſten Micrometer der Hauptſache nach überein, wenn gleich die Art, wie das Bild gemeſſen wird, verſchieden iſt. Man bedient ſich aber noch einer zweiten, weſentlich verſchiedenen Art von Micrometern, wo zwei Bilder hervorgebracht und beobachtet werden; dieſe ſind unter dem Namen Heliometer, Sonnenmeſſer, bekannt. Um ihre Einrichtung zu erläutern, muß ich Sie zuerſt an einen ſchon früher erwähnten Umſtand erinnern, deſſen Richtigkeit Sie aus dem Vorigen überſehen, und den Sie auch leicht durch einen Verſuch prüfen können. Wenn Sie ein convexes Linſenglas aufſtellen, um das Bild eines Gegenſtandes hinter demſelben aufzufangen, ſo können Sie die Hälfte des Glaſes bedecken, ohne daß das Bild dadurch in ſeiner Geſtalt und Genauigkeit leidet, ſondern es wird nur merklich lichtſchwächer; die Strahlen von der bedeckten Hälfte des Glaſes hätten zwar neue Strahlen zu Erleuchtung der einzelnen Punkte des Bildes hinzu gelangen laſſen, aber die Form und Größe des Bildes hätten ſie nicht anders beſtimmt. Es läßt ſich alſo mit jeder Hälfte eines in zwei Hälften zerſchnittenen Objectivs ein Bild eines Gegenſtandes hervorbringen, und die Bilder, die durch beide genau gleiche Hälften hervorgebracht werden, ſind, wenn beide Hälften getrennt ſind, genau gleich. Stellen Sie ſich nun am Ende eines gewöhnlichen Fernrohres die eine Hälfte des Objectivs feſt eingeſetzt, die andre aber auf die Art beweglich vor, daß ſie mit Hülfe einer Schraube in der Richtung der Theilungslinie fortgeſchoben werden kann, daß alſo die bewegliche Hälfte **DE** (VIII. Fig. 6) ungefähr in einer ſolchen Stellung, wie die Figur zeigt, gegen die feſtſtehende Hälfte **AB** ſich befindet. Die feſtſtehende Hälfte wird das Bild eines nahe an der Axe des Fernrohrs ſtehenden Gegenſtandes immer in **F** zeigen; das durch die andre Hälfte hervorgebrachte Bild **f** dagegen wird ſich deſto mehr entfernen, je weiter man **DE** hinaufſchraubt. Wählt man alſo die Stellung der beweglichen Halblinſe ſo, daß der unterſte Punkt des Bildes **f** den oberſten Punkt des Bildes **F** berührt, ſo lernt man die Größe jedes dieſer beiden Bilder kennen; denn da die Hälfte **DE** ſo fortgeſchraubt wird, daß die Axen beider Hälften immer parallel bleiben, ſo giebt die Schraube an, um wieviel die Halblinſe oder um wieviel ihre Axe fortgerückt iſt, und dieſes iſt die Größe des Bildes, aus welcher ſich, wie bei andern Micrometern, die ſcheinbare Größe des Gegenſtandes, der Sehewinkel, unter welchem er erſcheint, ergiebt.

Vierunddreißigſte Vorleſung.

Diejenigen Erſcheinungen, die von der Brechung des Lichtes auf eine ſolche Weiſe abhängen, daß wir dabei an die Farbenzerſtreuung nicht nothwendig zu denken brauchen, ſind ſo überaus zahlreich, daß ich Sie lange Zeit damit habe unterhalten müſſen; und obgleich es vielleicht von der einen Seite zweckmäßiger ſcheinen könnte, zuerſt auch die Geſetze der Farbenerſcheinungen zu entwickeln, ſo ſchien mir doch die Zuſammenſtellung jener Anwendungen der Brechungstheorie darum angenehm, weil das Anknüpfen zahlreicher Phänomene an diejenigen theoretiſchen Betrachtungen, denen ſie zunächſt angehören, am beſten dient, dieſe theoretiſchen Unterſuchungen vollſtändig und vielſeitig durchzuführen. Endlich, nachdem ſo zahlreiche Anwendungen unſre Fortſchritte in der Unterſuchung der Haupterſcheinungen des Lichtes aufgehalten haben, gehe ich zu der wichtigen Bemerkung über, daß faſt keine Brechung des Lichtes ohne Farben ſtatt findet.

Ungleiche Brechbarkeit der Farbenſtrahlen.

Wenn Sie ein weißes Papier auf einen ſchwarzen Grund gelegt durch das Prisma betrachten, ſo zeigt es einen ſchönen Farbenrand, und jeder auf dem Papier gezeichnete ſchwarze und farbige Punkt, ja jedes zu einem Schatten Anlaß gebende Fältchen bietet eine gleiche Farbenerſcheinung dar. Die Farben zeigen ſich immer in derſelben Ordnung, die wir ſogleich durch die von Newton zuerſt angeſtellten entſcheidenden Experimente kennen lernen wollen.

Um den Gang der Lichtſtrahlen zu beobachten, iſt es immer am vortheilhafteſten, einen möglichſt eng begrenzten Sonnenſtrahl in ein ſonſt völlig dunkles Zimmer einzulaſſen. Wenn dieſer durch eine kleine runde Oeffnung einfällt, ſo zeigt ſich auf einer in mehr oder minder großer Entfernung dem Strahle ſenkrecht dargebotenen Tafel ein rundes Sonnenbild, das ſich entfernter von der Oeffnung immer größer zeigt und daher entſteht, daß Strahlen von allen Punkten der Sonne kommend ſich in der Oeffnung durchſchneiden und daher von der Oeffnung ausgehend wieder einen Kegel bilden, ſo wie ſie vor dem Hingelangen zur Oeffnung einen Kegel bildeten, deſſen Grundfläche die Sonne ſeyn würde, wenn wir ihn bis dahin verfolgen wollten. Dieſes weiße, runde Sonnenbild, welches durch graden Fortgang der Strahlen hervorgebracht wird, wird durch ein den Strahlen dargebotenes Prisma nicht bloß von ſeinem Platze gerückt, weil die Brechung im Prisma die Richtung der Strahlen ändert, ſondern es wird zugleich länglich und farbig. Das weiße Licht der Sonne wird alſo farbig durch die Brechung im Prisma, und da wir das Violett und Blau am weiteſten von dem Orte, wo das weiße Sonnenbild lag, entfernt, oder mit andern Worten, da wir den Lichtſtrahl, der ſich violett zeigt, am meiſten von ſeiner urſprünglichen Richtung abgelenkt finden, den blauen, grünen, gelben, rothen in dieſer Ordnung immer weniger, ſo ſagen

wir, aus dem weißen Lichtſtrahle gehen farbige Lichtſtrahlen hervor, die **ungleich gebrochen** werden, der violette am ſtärkſten, der blaue etwas weniger, der grüne, gelbe, orangefarbene immer weniger, der rothe am wenigſten. Aus dieſer ungleichen Brechbarkeit laſſen ſich alle Umſtände, die wir bei dieſem farbigen Sonnenbilde bemerken, erklären, und alle fernern Experimente zeigen, daß wir genöthigt ſind, ſie anzunehmen. Schon **Newton** machte die Bemerkung, daß das Sonnenbild auch nach dem Durchgange durch das Prisma auf einer dem Strahle ſenkrecht dargebotenen Tafel faſt genau rund, aber roth, erſcheinen würde, wenn die Sonne uns nur rothe Strahlen zuſendete, Strahlen nämlich von gleicher Brechbarkeit; daß eine gelbe Sonne ein andres rundes Bild geben würde, und zwar etwas weiter von der Richtung der grade fortgehenden Strahlen entfernt, weil die gelben Strahlen etwas mehr gebrochen werden; daß eine grüne Sonne, eine blaue Sonne, eine violette Sonne, wenn wir uns ihre Strahlen nach und nach auf gleiche Weiſe einfallend verſchaffen könnten, ein verſchieden gefärbtes rundes Bild, jedes folgende weiter von der Richtung des ungebrochenen Strahles entfernt, geben würden. Indem nun, ſchloß **Newton** weiter, dieſe verſchiedenen Bilder zu gleicher Zeit aus den weißen Strahlen hervorgehen und ſich ſo, wie VIII. Fig. 11 zeigt, neben einander darſtellen, zugleich aber ſich in ihren auf einander fallenden Rändern vermiſchen, entſteht das längliche Farbenbild AB, das am einen Ende r roth, am andern Ende v violett iſt und die Farben r roth, o orange, g gelb, gr grün, b blau, v violett darſtellt. Dieſes kann entweder ſo wie VIII. Fig. 11 aus einer Reihe von Farben, Violett am einen, Roth am andern Ende, mit Miſchungs-Uebergängen vom Violett zum Blau, vom Blau zum Grün, vom Grün zum Gelb, vom Gelb zum Orange, vom Orange zum Roth, entſtehen, oder ſich bloß an den Enden gefärbt, in der Mitte weiß darſtellen, weil die Miſchung aus allen Farben, die offenbar in VIII. Fig. 12 in der Mitte eintritt, wieder eben die Einwirkung auf unſer Geſicht hervorbringt, wie ſie bei dem freien Sonnenſtrahle, in welchem auch alle jene Farbenſtrahlen gemiſcht waren, ſtatt fand.[1] Nach dieſer Vorſtellungsart iſt alſo das Sonnenlicht eine Miſchung aus den verſchiedenen Farbenſtrahlen, die ich, weil ſie ſechs Hauptfarben darbieten, zuerſt nur als ſo viel einzelne Strahlen betrachten will, obgleich dieſe Vorſtellung noch etwas verbeſſert werden muß; jeder Farbenſtrahl erleidet eine andre Brechung, giebt daher nach dem Durchgange durch das Prisma einen in etwas verſchiedener Richtung fortgehenden Strahl und ein eignes Farbenbild. **Newton** fand noch keine Mittel, jene von ihm vorausgeſetzten runden Farbenbilder wirklich vor Augen zu legen; aber die Mittel dazu haben ſich nachher dargeboten. Die Sonnenſtrahlen können uns dieſe

[1] Die in Fig. 12 mit r, o, g, gr, b, v bezeichneten Kreiſe ſollten eigentlich die dadurch angedeuteten Farben darſtellen; aber nicht allein in w, wo alle einander bedecken, wird weiß entſtehen, ſondern auch bei b wird ein etwas ins Gelbliche ziehendes Weiß, bei o′, g′ ein etwas bläuliches Weiß hervorgehen, und nur bei r, o, g der rothe, orange, gelbe, bei b′, v′ der blaue und violette Rand ſchön farbig ſeyn.

runden Farbenbilder zeigen, wenn ſie durch gefärbte Gläſer oder durch gefärbte Flüſſigkeiten gehen, indem zum Beiſpiel verdünnte Lackmußtinctur und einige rothe Glasarten faſt nur den rothen Strahlen den Durchgang geſtatten; gewöhnlich werden noch einige andre Strahlen mit durchgelaſſen, da dieſes aber bei der Lackmußtinctur faſt nur blaue und violette ſind, ſo iſt dieſe Flüſſigkeit dennoch geeignet, die runden Bilder zu zeigen. Läßt man nämlich den Sonnenſtrahl, ehe er das Prisma erreicht, durch ein mit parallelen Wänden begrenztes, mit einer ſolchen Flüſſigkeit gefülltes Glas gehen, ſo ſieht man in dem prismatiſchen Bilde die übrigen Farben ganz verſchwunden und nur ein rundes rothes Bild, an der Stelle, wo auch vorher das Roth lag, bleibt ſichtbar, entweder ganz allein, wenn gar keine andern Farbenſtrahlen durchgelaſſen werden, oder neben einem abgeſonderten blauen und violetten Bilde, das an der vorigen Stelle des Blau und Violett erſcheint. Dieſe Erſcheinung zeigt ſich am beſten, wenn von den gelben und grünen Strahlen gar keine durchgelaſſen werden, indem dann das runde rothe Bild durch einen dunkeln Zwiſchenraum von dem ſchwachen blauen oder violetten Bilde getrennt iſt; würden dagegen grüne Strahlen durchgelaſſen, ſo würde das letztere Bild ſich in die Länge gezogen und grün am einen, violett am andern Ende zeigen.

Dieſer Verſuch iſt einer der Beweiſe, daß wirklich jede Art von Farbenſtrahlen ein eignes und vollſtändiges Bild darſtellt, und daß ein jedes nach Verſchiedenheit der Farbe auf einen andern Ort fällt, alſo aus Strahlen nach andern Richtungen gebrochen entſteht. Aber auch andre Lichter außer dem Sonnenlichte beweiſen eben das. Wenn wir unſre gewöhnliche Lichtflamme durch ein Prisma anſehn und dabei am liebſten die parallelen Seitenlinien des Prismas vertical, der Längenabmeſſung der Flamme parallel, halten, ſo erſcheint uns erſtlich, wie Sie wiſſen, die Flamme weit von ihrer wahren Stelle fortgerückt, weil die Strahlen ſtark gebrochen ins Auge kommen, aber zweitens erſcheint uns auch die Flamme farbig, und zwar roth an der Seite, die dem wahren Orte derſelben am nächſten iſt, blau und violett an der entgegengeſetzten Seite; jenes Roth und das in der Mitte entſtehende Gelb ſind vorzüglich lebhaft, weil dieſe Flammen viel rothes und gelbes Licht geben. Hier iſt alſo die Erſcheinung der Farbenränder und ſo ziemlich der ganzen Folge aller Farben ſichtbar. Aber wenn man einen mit Kochſalz ſtark eingeriebenen Docht in eine Spirituslampe ſetzt und nur eine ziemlich ſchmale Flamme zu erhalten ſucht oder noch lieber die Flamme nur durch eine ſchmale Oeffnung auf das vor das Auge gehaltene Prisma ihr Licht ſenden läßt, ſo ſieht man nicht eine ganze Reihenfolge aller Farben, nicht ein in die Breite gezogenes Bild der Flamme, das ſich in Farbenränder endigt, ſondern eine reine gelbe Flamme ohne allen rothen Rand, und dieſe Flamme in ihrer ganz natürlichen Form, begleitet jedoch von einer matten violetten Flamme, die, wenn man ſich mit dem Prisma hinreichend entfernt hat, ganz getrennt von der gelben Flamme, ſo daß ein dunkler Zwiſchenraum zwiſchen beiden bleibt, erſcheint. Bei dieſer Flamme tritt nämlich der für unſern Zweck vortheilhafte Umſtand ein, daß ſie

faſt nur rein gelbes Licht mit einer geringen Beimiſchung violetten Lichtes ausſendet.[1] Bei der Brechung findet daher nur inſofern eine Farbenzerſtreuung, eine Darſtellung verſchiedenfarbiger Erſcheinungen ſtatt, als ſich neben der gelben Hauptflamme noch eine ganz davon getrennte matte violette Flamme zeigt und die Uebergangsfarben, das Grün und Blau, die ſonſt beide Flammen verbinden und eben dadurch ein undeutliches Bild, eine breitgezogene Flamme hervorbringen würden, gar nicht da ſind. — Dieſe Verſuche zeigen deutlich, daß da, wo nur eine Art von Farbenſtrahlen vorhanden iſt, der Gegenſtand ganz rein, ſelbſt durch das Prisma geſehen ohne unſicher begrenzte Ränder, erſcheint, und daß dieſe verſchiedenen Farben und Ränder alſo nur aus der ungleichen Brechung der gemiſchten verſchiedenen Farbenſtrahlen entſtehen.

Newton's Verſuche über dieſe ungleiche Brechung der Lichtſtrahlen verdienen noch immer, ihrer paſſenden Anordnung wegen, angeführt zu werden, obgleich die Wahrheit ſeiner Behauptung, daß erſtlich die verſchiedenen Farbenſtrahlen eine ungleiche Brechung haben, und daß zweitens da, wo ſie vereint zur Erleuchtung beitragen, — in demſelben Miſchungsverhältniß vereint, wie im Sonnenſtrahle, — eine weiße Erleuchtung hervorgeht und da, wo ſie in dieſem Verhältniſſe gemiſcht das Auge erreichen, das Auge die Empfindung des Weiß erlangt, auf unzählige Weiſen nachgewieſen werden kann. Newton ſtellte zum Beweiſe, daß die verſchiedenfarbigen Strahlen, auch wenn ſie von gefärbten Körpern ausgehen, eine ungleiche Brechbarkeit haben, folgenden Verſuch an. Auf ſchwarzen Grund wurden zwei neben einander gezeichnete Quadrate AB, BD (VIII. Fig. 13), deren eines roth, das andre blau gefärbt war, gelegt; dieſe wurden durch das Prisma, deſſen Seiten mit AD parallel gehalten wurden, betrachtet, und es zeigte ſich nun das rothe Quadrat nicht mehr grade neben dem blauen, ſondern wenn jenes dem Auge nach ab herabgerückt erſchien, ſo war das blaue dagegen in der Lage cd zu ſehen; die Brechung der rothen Strahlen war alſo geringer und hatte eine geringere Aenderung der ſcheinbaren Lage hervorgebracht, als die Brechung der blauen Strahlen. Dieſer Verſuch hat nur darin einige Schwierigkeit, daß unſre Farbſtoffe nie ganz rein nur eine Art farbigen Lichtes geben, ſondern immer noch einige Beimiſchung andrer Farben enthalten, und daß überdieß die Oberfläche ſelten von einem ſpiegelnden Glanze frei iſt, der ein aus allen Farben gemiſchtes Licht giebt. Indeß obgleich das Roth nicht leicht ohne einen gelben Rand an der Seite AE, die der ſtärkern Brechung entſpricht, und noch weniger das Blau ohne einen grünen Rand an der der geringern Brechung entſprechenden Seite BF zu ſeyn pflegt, ſo iſt doch in der That das Experiment überzeugend genug. Einige Arten von Blumen ſind noch mehr dazu geeignet, indem z. B.

[1] Auch andre farbige Flammen, die nur einzelne Farbenſtrahlen ausſenden, laſſen ſich ziemlich leicht herſtellen. Strontianſalze geben der Flamme eine ſehr ſchöne karmoiſinrothe Farbe, und betrachtet man die Flamme durchs Prisma, ſo ſieht man einen orangefarbenen, einen intenſiven hellblauen und mehrere durch dunkle Räume getrennte rothe Strahlen. Lithionſalze geben eine reinrothe, Kalkſalze eine ziegelrothe Flamme, die vorzüglich auch gelbe und grüne Strahlen ausſendet, Kupferſalze erzeugen eine grüne Flamme.

die Lychnis chalcedonica ein faſt reines Roth und einige blaue Blumen ein wenigſtens nicht mit allzu erheblichem grünem Rande verſehenes Blau liefern. Man kann den Verſuch auch ſo abändern, daß man (VIII. Fig. 13) an den obern Rand des rothen Vierecks ein blaues Blättchen g, einen kleinen Theil des Roth verdeckend, legt; betrachtet man nun das Viereck AB durch das Prisma, ſo daß es nach ab herabgerückt erſcheint, ſo ſieht man bei g′ einen dunkeln Fleck ohne Farbe, das Blau aber zeigt ſich bei e als einen violetten Schimmer auf dem Roth verbreitend. In der Gegend g′ erſcheinen dem Auge gar keine Farbenſtrahlen, von dort kömmt gar kein Licht zum Auge, indem von dort keine rothen, einer geringen Brechung empfänglichen Strahlen ausgehen, die blauen aber, ſtärker gebrochen, das Auge ſo treffen, als ob ſie von e ausgingen.

Daß aus dem weißen Sonnenlichte ein farbiges Bild hervorging, hatte Newton durch einen ähnlichen Verſuch, wie den oben beſchriebenen, gezeigt; aber es konnte nun die Frage entſtehen, ob denn nicht durch eine neue Brechung jeder Farbenſtrahl ſich abermals ebenſo in neue Strahlen zerſtreuen oder ausbreiten werde. Newton ſuchte daher zuerſt die bei der erſten Brechung getrennten Strahlen ſo zu erhalten, daß ſie möglichſt ungemiſcht hervorgingen, und unterwarf ſie dann einer neuen Brechung. Um das erſtere zu bewirken, wurde der durch das Prisma A (VIII. Fig. 14) gebrochene Strahl durch eine kleine Oeffnung B und dann abermals durch eine kleine Oeffnung C durchgelaſſen; dadurch konnte man, indem die Mitte des rothen Strahles durch B nach C fiel, alles Gelb und ſo, bei ähnlicher Anwendung eines andern Farbenſtrahles, faſt alles fremde Licht entfernt halten, alſo auf das Prisma D möglichſt reines, einfarbiges Licht fallen laſſen. Ward nun dieſes im Prisma D zum zweiten Male gebrochen, ſo zeigte ſich, daß dieſer farbige Strahl keine merkliche abermalige Ausbreitung, wie es bei erheblich verſchiedener Brechung ſeiner einzelnen Theile hätte ſtatt finden müſſen, zeigte; daß aber die neue Ablenkung, die er durch das Prisma D erlitt, am geringſten war, wenn man einen rothen Strahl durch B, C hatte einfallen laſſen, am ſtärkſten, wenn der Strahl violett war, und daß alſo die ſtärkere Brechbarkeit auch hier dem Violett zugehörte, während der blaue, grüne, gelbe, rothe Strahl ſich in dieſer Ordnung weniger brechbar zeigten.

Ein zweiter, leicht anzuſtellender Verſuch, welcher zeigt, daß die Farbenſtrahlen, welche bei der erſten Brechung am meiſten von ihrer Richtung abgelenkt waren, auch bei einer zweiten Brechung wieder am meiſten gebrochen werden, iſt folgender. Sie haben ſchon vorhin geſehen, daß das farbige Sonnenbild, das prismatiſche Spectrum, eine längliche Form AB (VIII. Fig. 15) annimmt, und zwar hat die Längenabmeſſung dieſes Bildes eine verticale Lage an der verticalen Wand, wenn das Prisma CD horizontal ſteht; läßt man die Strahlen, die dieſes Bild darſtellen, auf ein verticales Prisma EF fallen, ſo erhält man ein ſchiefſtehendes Farbenbild, in welchem das Violett bei A, welches ſchon bei der erſten Brechung am meiſten von der urſprünglichen

Richtung LM entfernt lag, nach G, mehr ſeitwärts gebrochen erſcheint, als die übrigen Farben, unter welchen das Roth von B nach H fortgerückt iſt und am wenigſten ſeinen Platz geändert hat.

Weiß aus der Miſchung der Farben entſtehend. Andre Miſchungsfarben. Ergänzungsfarben.

Ein andrer Verſuch Newton's hatte die Abſicht zu zeigen, daß bei der Vereinigung aller aus dem weißen Lichtſtrahle hervorgegangenen Farbenſtrahlen ſich wieder Weiß zeige. Um dieß zu beweiſen, diente die Sammlung der durch das Prisma getrennten Strahlen, die durch ein convexes Glas bewirkt wurde. Wenn man Lichtſtrahlen, die von A ausgehend (VIII. Fig. 16) divergiren, mit einem Glaſe, das ſo aufgeſtellt iſt, daß die Entfernung von A bis BC der doppelten Brennweite gleich iſt, auffängt, ſo bringt die Brechung dieſelben in einer Entfernung, die dem Abſtande des Glaſes vom Punkte A gleich iſt, in D zuſammen, und jenſeits D gehen ſie wieder aus einander; wenn man alſo für die vom Prisma A aus divergirenden Farbenſtrahlen die Glaslinſe auf dieſe Weiſe aufſtellt, ſo werden alle Farbenſtrahlen in dem Punkte D geſammelt, und hier zeigen ſie eine weiße Erleuchtung; fängt man ſie dagegen dieſſeits des Punktes D, zwiſchen D und BC auf, ſo erſcheinen die Farben in ihrer gewöhnlichen Ordnung, (in der Figur, wo die Brechung nach oberwärts erfolgt iſt, das Violett zu oberſt,) dagegen erſcheinen die Farben in umgekehrter Folge, wenn man jenſeits D die Strahlen auffängt, (in der Figur Violett zu unterſt,) weil hier die Strahlen ſich durchkreuzt haben. Das bloße Zuſammentreffen in einem Punkte bringt alſo für unſer Auge die Empfindung des Weiß hervor, aber die in verſchiedenen Richtungen in D ankommenden Farbenſtrahlen behalten ihre Eigenſchaft, eine farbige Erleuchtung hervorzubringen, und zeigen dieſe abermals, ſobald ſie ſich wieder, ihren graden Lauf fortſetzend, getrennt haben. Durch Miſchung von Färbeſtoffen (welche niemals eine Farbe ganz rein darſtellen, auch nie alles Licht reflectiren), kann man kein reines Weiß, ſondern nur ein mehr oder weniger dunkles Grau erhalten. Hierzu dienen Vorrichtungen die man Farbenſcheiben, Farbenſpindeln und Farbenkreiſel nennt. Verfertigt man eine kreisrunde Scheibe von weißem Papier, theilt dieſe vom Mittelpunkte aus in 7 Sectoren von beſtimmter Größe, färbt dieſe nach der Reihe roth, orange, gelb, grün, hellblau, dunkel- oder indigoblau und violett, und verſetzt dann den ſo gefärbten Kreis in eine ſchnelle Drehung um ſeine Axe, ſo kann das Auge die einzelnen Farben wegen der ſchnellen Aufeinanderfolge der Eindrücke nicht mehr unterſcheiden und ſieht den ganzen Kreis grau gefärbt, und zwar deſto heller, je glänzender und reiner die angewandten Farben waren. Nach Newton's Anweiſung (von welchem die Farbenſcheibe die Newton'ſche genannt wird, ſoll man den Kreisumfang ſo eintheilen, daß auf jede der Farben Roth, Grün und Violett $60\frac{3}{4}$ Grad oder etwa $\frac{1}{6}$ des Umfangs, auf Gelb und Hellblau je $54\frac{2}{3}$ Grad oder $\frac{3}{20}$ des Umfangs, auf Orange und Indigoblau $34\frac{1}{6}$ Grad oder nicht ganz $\frac{1}{10}$

des Umfangs kommen, ſo daß ſich die Sectoren beinahe wie die Zahlen 10, 6, 9, 10, 9, 6, 10 verhalten.

Auch die Miſchung nicht aller, ſondern nur einiger Farbenſtrahlen bringt bemerkenswerthe Erſcheinungen hervor. Wenn man eine ziemlich große Glaslinſe mit einem Schirme bedeckt, in welchem ſich zwei parallele ſchmale Oeffnungen befinden, und nun von dem in der doppelten Brennweite aufgeſtellten Prisma her die Farbenſtrahlen ſo auffallen läßt, daß ihre Begrenzungen den offenen Streifen parallel ſind, ſo iſt es nicht ſchwer, bald dieſe bald jene zwei Farben auf die Oeffnung, alſo auf die Linſe fallen zu laſſen. Fängt man nun die durch die Linſe gegangenen Strahlen auf einer weißen Tafel hinter der Linſe auf, ſo ſieht man zwei ungleichfarbig erhellte Streifen, ſo lange die Tafel weniger als die doppelte Brennweite entfernt iſt, und ſieht dieſe wieder, aber in umgekehrter Ordnung, wenn ſie mehr entfernt iſt; in der doppelten Brennweite der Linſe aber zeigen ſich beide Streifen vereint und bieten nun die Mittelfarbe dar. Dieſe iſt grün, wenn ſich Gelb und Blau vereinigen, orange, wenn ſich Roth und Gelb vereinigen; aber aus der Vereinigung von Grün und Orange geht ein blaſſes Gelb, aus Grün und Violett geht Blau hervor, indem die gemiſchten Strahlen diejenige Farbe, die zwiſchen ihnen liegt, hervorbringen, zugleich aber in der Miſchung ein Weiß, eine Erleuchtung, die die Mittelfarbe um ſehr vieles heller (ein lichteres Gelb zum Beiſpiel) macht, ſich zeigt. Nach v. Grotthus Vorſchrift kann man ein für unſer Auge als ganz rein erſcheinendes Weiß erhalten, wenn man durch zwei Prismen zwei Farbenbilder hervorbringt, die ſo auf einander fallen, daß das Roth des einen das Bläulichgrün des andern deckt; dieſes Weiß iſt aber durch das Prisma geſehen nicht in alle Farben, ſondern nur in die, aus denen es entſtanden iſt, zerlegbar.

Wenn man durch die Linſe alle Strahlen, das Blau ausgenommen, vereinigt, ſo erhält man Gelb oder Orange, je nachdem das Blau aus einem näher am Violett oder näher am Grün liegenden Theile des Farbenbildes genommen iſt, und es heißt daher Blau die Complementärfarbe, die Ergänzungsfarbe des Orange oder Gelb; ebenſo iſt Roth die Ergänzungsfarbe des Grün, Violett die Ergänzungsfarbe des Gelb, weil das Zuſammenkommen aller Farben außer jener einen die zugehörige Ergänzungsfarbe hervorbringt.

Genaue Beſtimmung des Brechungsverhältniſſes für verſchiedene Farbenſtrahlen.

Von dieſen Verſuchen, welche die vereinte Wirkung mehrerer Farbenſtrahlen betrafen, kehre ich zu der ungleichen Größe der Brechung zurück, indem es nicht genug iſt, dieſe Ungleichheit obenhin zu kennen, ſondern auch nöthig iſt, die Mittel zu einer ganz genauen Beſtimmung vollſtändiger zu überſehen.

Um dieſe Beſtimmung zu erhalten, wandte Fraunhofer die ſchon früher [1] beſchriebene Einrichtung zur Abmeſſung der Brechung an, die ich kaum noch

[1] S. Vorleſ. 31. S. 354.

weiter zu erklären brauche, da die dem Vorigen beizufügende Erörterung ſich leicht von ſelbſt ergiebt. Wir ſahen es früher ſo an, als ob der nach der Richtung AB (VII. Fig. 22) auf das Prisma fallende Strahl auch nach der Brechung im Prisma als ein einzelner Strahl, das heißt mit paralleler Richtung aller ſeiner Theile, hervorgehe; aber Sie wiſſen jetzt, daß dieſes nicht der Fall iſt, indem die violetten und rothen Strahlen und ſo auch alle zwiſchenliegenden merklich divergirend hervorgehen; es iſt alſo bei einer genauen Beſtimmung der Brechung nöthig, mit jedem Farbenſtrahle beſonders die Beobachtung zu wiederholen, und indem man das eine Mal den rothen, das andre Mal den gelben Strahl genau in der Richtung des Fernrohrs ML beobachtet, die entſtandene Ablenkung von der erſten Richtung zu beſtimmen. Dieſes läßt ſich in ſofern ohne Schwierigkeit bewirken, als man die kleine Oeffnung, durch welche das Lampenlicht auf das Prisma fällt, roth, gelb u. ſ. w. ſieht, wenn dieſe verſchiedenen Farbenſtrahlen durch das Fernrohr zum Auge kommen, und ſo ergeben ſich Folgerungen, die für viele Zwecke ſchon genau genug ſind. Aber dem genauen Beobachter bietet ſich dennoch hier ein Zweifel dar. Das prismatiſche Farbenbild zeigt in jeder Farbe eine gewiſſe Ausdehnung, und obgleich ich das Bild im Fernrohr grün ſehe, es mögen Strahlen, die etwas näher nach dem Gelb hin oder etwas näher nach dem Blau hin liegen, durch das Fernrohr zum Auge gelangen, ſo iſt doch für eine ſehr ſtrenge Meſſung derjenige grüne Strahl, welcher dem Blau etwas näher liegt, ſchon ſtärker gebrochen, als der, welcher dem Gelb näher liegt, und es iſt daher nicht ſo leicht, wenn man die Brechung für verſchiedene Körper beſtimmen will, ſich zu überzeugen, daß man bei allen genau eben denſelben grünen, genau eben denſelben blauen Strahl, nämlich den, der im Farbenbilde dieſelbe Stelle einnimmt, angewandt habe. Dieſe Schwierigkeit wird gehoben durch die von Fraunhofer gemachte Entdeckung, daß es dunkle Linien im prismatiſchen Sonnenbilde giebt, die immer ihre beſtimmte Stelle behalten.[1] Um dieſe Entdeckung ſogleich in der Verbindung zu zeigen, wie ſie mir am verſtändlichſten ſcheint, will ich Sie noch einmal auf die durch das Prisma geſehene gewöhnliche Lichtflamme und auf die durch Weingeiſt und einen mit Salz eingeriebenen Docht hervorgebrachte Flamme aufmerkſam machen. Jene zeigt in der Mitte eine vorzüglich glänzende Stelle da, wo das Gelb des prismatiſchen Bildes liegt, und dieſe zeigt eine auffallende Lücke zwiſchen dem Gelb und Violett. Wir finden den Grund hiefür darin, daß unſre gewöhnliche Lichtflamme einen großen Antheil gelben Lichtes enthält, desjenigen gelben Lichtes, deſſen Brechbarkeit faſt genau gleich groß iſt und das daher in einem ſehr engen Raume des prismatiſchen Bildes beiſammen bleibt; dagegen zeigen uns die Lücken im prismatiſchen Bilde der zweiten Flamme, daß es ihr an rothen Strahlen, an grünen Strahlen, an blauen Strahlen ganz fehlt, die daher auch im Farbenbilde ſich nicht darſtellen können. So auffallende Lücken in der Reihenfolge

[1] Wollaſton hat dieſe ſchon früher geſehen, aber Fraunhofer entdeckte ſie, ohne dieß zu wiſſen, und gab der Entdeckung erſt ihren rechten Werth durch die Anwendung.

der ungleich brechbaren Strahlen giebt es nun im Sonnenlichte nicht, ſondern es iſt beinahe richtig, wenn wir behaupten, daß ſich im Sonnenlichte Strahlen von allen den verſchiedenen Graden der Brechbarkeit finden, die zwiſchen der Brechbarkeit des äußerſten Roth und des äußerſten Violett enthalten ſind; aber obgleich dieß ſehr wenig von der Wahrheit abweicht, ſo zeigen doch die dunkeln Linien, die man mit Hülfe des Fernrohres wahrnimmt, daß auch hier ſehr kleine Lücken, den großen Lücken in jenem vorigen Beiſpiele ähnlich, vorhanden ſind. Dieſe Lücken oder dunkeln Linien zeigen ſich anders im Lichte heller Fixſterne, anders im Lichte weißer Flammen, und enthalten alſo gewiſſermaßen den Character dieſer Lichtarten, die ſonſt durch ihre Farbe für das Auge nicht unterſcheidbar ſeyn würden. Wir waren vorhin geneigt, von ſechs verſchiedenen Farbenſtrahlen zu reden, oder von ſieben, wenn wir Newton folgen wollen, der im Blau zwei Farben (Hellblau und Dunkel- oder Indigoblau) unterſcheidet; aber wir erkennen jetzt, daß wir viel mehrere ungleich brechbare Strahlen annehmen müſſen, wenn gleich unſer Auge eine ganze Reihe benachbarter Strahlen grün, eine andre Reihe benachbarter Strahlen gelb nennt u. ſ. w. Ein dünner auf das Prisma fallender Strahl breitet ſich fächerförmig aus, wenn er aus dem Prisma hervorgeht, und wenn wir den kleinen Winkel, den der äußerſte rothe Strahl mit dem äußerſten violetten macht, in tauſend Theile zerlegen, ſo iſt jede dieſer tauſend Abtheilungen als mit Strahlen von ungleicher Brechbarkeit erfüllt anzuſehen; indeß lehren Fraunhofer's Verſuche, daß unter dieſen tauſend Strahlen, die nach dem Geſetze der Stetigkeit immer einer etwas mehr als der andre gebrochen werden, doch hier und da einer fehlt. So muß man dieſe wichtige Entdeckung verſtehen, und folglich müſſen wir, wenn gleich im Allgemeinen der Glanz des Farbenbildes von den Seiten gegen die Mitte zunimmt, zugeſtehen, daß dieſer Fortgang nicht ſtreng nach dem Geſetze der Stetigkeit erfolgt.

Wenn man die dunkeln Linien im prismatiſchen Sonnenbilde beobachten will, ſo muß man einen möglichſt eng begrenzten Strahl des Sonnenlichtes durch eine ſehr ſchmale Oeffnung auf das ziemlich entfernte Prisma gelangen laſſen und gleich hinter dem Prisma ein Fernrohr in der Richtung aufſtellen, in welcher die gebrochenen Lichtſtrahlen aus dem Prisma hervorgehen. Wäre die Oeffnung, durch die das Licht hereinfällt, von irgend erheblicher Breite, ſo würde jeder einzelne Farbenſtrahl ein ebenſo breites Bild darſtellen, und wenn alſo auch zwiſchen zwei zunächſt gelegenen Farbenſtrahlen einer von beſtimmter Brechbarkeit fehlte, ſo würden doch die breiten, durch die angrenzenden Farbenſtrahlen hervorgebrachten Bilder den dunkeln Zwiſchenraum, der hier entſtehen ſollte, verdecken. Solcher dunklen Linien ſind von Fraunhofer mehrere Hunderte aufgefunden und genau beſtimmt worden; Brewſter, der freilich ſeine Beobachtungen in der ungleich trüberen Atmoſphäre Schottlands anſtellte, hat ſogar mehr als 2000 aufgefunden. Unter allen Linien ſind jedoch ſieben beſonders hervorſtechend und ſogar unter recht günſtigen Umſtänden auch ohne Fernrohr erkennbar.

Dieſe Linien nun bieten, da ſie an genau beſtimmten Stellen des prismatiſchen Sonnenbildes liegen, ein völlig ſtrenges Mittel zur Vergleichung der Brechung in verſchiedenen Körpern dar. Richtet man nämlich das Fernrohr ſo, daß genau die dunkle Linie, die ungefähr an der Grenze des Orange und Gelb (wo dieſe durch einen unmerklichen Uebergang verbunden ſind) ſich befindet, in der Mitte des Fernrohres erſcheint, ſo hat man durch die Stellung des Inſtruments (VII. Fig 22) und durch gehörige Berechnung die Brechung eines ganz beſtimmten Farbenſtrahles, den man bei Anwendung eines andern brechenden Körpers genau wiederfinden kann. Jetzt erſt läßt ſich alſo von dem Brechungsverhältniſſe für verſchiedene Körper mit Beſtimmtheit ſprechen, und wenn wir uns früher begnügten, oberflächlich zu ſagen, die Sinus des Einfallswinkels und des Brechungswinkels (das iſt, des Winkels, der zwiſchen dem einfallenden Strahle und dem Einfallslothe liegt) hätten für den Uebergang aus dem luftleeren Raume in Waſſer das Verhältniß 1 zu $^3/_4$ (oder 1 : 0,75) oder bei dem Uebergange aus Waſſer in den luftleeren Raum das Verhältniß 1 zu $^4/_3$ (oder 1 zu 1,3333), ſo können wir jetzt beſtimmter ſagen, daß das letztere Verhältniß durch 1 zu 1,3309 für eine dunkle Linie, die dem rothen Ende des Bildes nahe iſt, durch 1 zu 1,3336 für die dunkle Linie zwiſchen Orange und Gelb, durch 1 zu 1,3358 für eine beſtimmte Stelle des Grün, durch 1 zu 1,3413 für eine Stelle im tiefen Blau dem Violett nahe, durch 1 zu 1,3442 für eine beſtimmte Stelle gegen die Grenze des Farbenbildes im Violett dargeſtellt wird. — Warum die genaue Kenntniß dieſer Brechungsverhältniſſe, namentlich in Beziehung auf die verſchiedenen Glasarten, ſo wichtig iſt, werde ich in der Folge zu erwähnen Gelegenheit haben.

Verlaſſen kann ich aber dieſen Gegenſtand nicht, ohne noch die Methode zu erwähnen, deren Fraunhofer ſich bediente, um die ungleiche Intenſität des Lichtes der verſchiedenen Farben im prismatiſchen Farbenbilde der Sonne zu beſtimmen. Indem man durch das Fernrohr die im Prisma zerſtreuten Strahlen auffängt, ſieht man dieſe, je nachdem man die eine oder andre Farbe in das Geſichtsfeld bringt, mit ungleichem Glanze, und um dieſen Glanz abzumeſſen, ward im Fernrohre ein das halbe Fernrohr einnehmender, ſchief geſtellter Spiegel angebracht, von dem das Licht einer ſeitwärts ſtehenden Lampe dem durch das Fernrohr ſehenden Auge zugeworfen wurde. Das Auge ſah alſo zugleich den von der Lampe erhellten Spiegel und daneben den zu vergleichenden Theil des Farbenbildes, und indem man durch vergrößerte oder verkleinerte Entfernung der Lampe den Spiegel ſo erhellte, daß der Eindruck des Glanzes dem des Farbenbildes gleich erſchien, ſo hatte man vermittelſt der Entfernung der Lampe eine Abmeſſung jener Helligkeit. Sie überſehen leicht, daß der Spiegel da ſtehen muß, wo des Oculars Brennpunkt iſt, damit er deutlich geſehen werde, und daß neben ihm eine Oeffnung an der Seite des Fernrohrs (mit einer Seitenröhre verſehen, um die Lampe aufzunehmen) angebracht ſeyn muß, damit ihn das Licht gehörig treffe. Durch dieſe Verſuche wurde beſtimmt, daß im Gelb die meiſte Lichtſtärke ſtatt findet, die vom Grün

biſ zum Violett ſich ſehr allmählig abnehmend verliert, ſtatt daß ſie durch Orange und Roth bis zur Grenze des Roth weit ſchneller abnimmt.

Geſetze für die an weißen Gegenſtänden im Prisma erſcheinenden Farbenränder.

Die meiſten der bisherigen Betrachtungen betrafen nur einen beſchränkten auf das Prisma fallenden Lichtſtrahl und die Beobachtung der Farbenerſcheinungen, die entweder das Sonnenbild an der Wand oder das gleichfalls beſchränkte Bild einer Flamme, wenn man es durch das Prisma betrachtet, darbietet; aber auch die Erſcheinung ausgedehnterer Flächen durch das Prisma verdient um ſo mehr eine nähere Betrachtung, da man bei der Erklärung derſelben oft einige Schwierigkeit gefunden hat. Wenn man eine größere weiße Fläche, am beſten auf ſchwarzem Grunde liegend, deren obere und untere Seite mit den Kanten des horizontal gehaltenen Prisma's parallel ſind, durch das Prisma anſieht und den brechenden Winkel des Prisma's nach unten wendet, ſo erſcheint die ganze weiße Fläche, vermöge der Brechung, hinabwärts gerückt, aber an der untern Seite von einem blauen und violetten Rande, oben dagegen von einem gelben und rothen Rande umgeben.

Um den Grund, warum die Farbenränder grade ſo erſcheinen, zu überſehen, ſey (VIII. Fig. 17) A B die weiße Tafel, oberhalb A und unterhalb B ſey die Fläche ſchwarz, am beſten ſo, daß ſie gar kein Licht ausſendet. Ein durch das Prisma C ſehendes Auge E würde die ganze Tafel nach rR gerückt ſehen, wenn ſie nur rothe Strahlen ausſendete, nach vV gerückt, wenn ſie nur violette Strahlen ausſendete, (um dieſe beiden Erſcheinungen zu unterſcheiden, iſt die eine etwas hinter der andern angegeben,) und es erhellt nun ſogleich, daß die weiße Tafel breiter als eine einfarbige Tafel und bei r roth, bei V violett erſcheinen wird. Die Figur giebt ungefähr an, daß das rothe Bild des Punktes A in r, das rothe Bild der Punkte a′, a″ in r′, r″ erſcheinen wird, und daß alſo der violette Strahl von A und der rothe von a″ in einerlei Richtung zum Auge kommen. In eben der Richtung kömmt offenbar ein grüner von a′ ausgehender Strahl zum Auge, und dieſes ſieht daher in der Gegend r″ v reines Weiß wegen der hier ſtatt findenden Vereinigung aller Farbenſtrahlen. Aber auch bei r′ wird kein reines Roth, ſondern Gelb erſcheinen; denn in eben der Richtung liegt der von A aus zum Auge kommende grüne Strahl; ferner ein gelber Strahl, der etwa mitten zwiſchen A und a′ ausgegangen iſt u. ſ. w., alſo erhält das Auge in der Richtung von r′ her eine Miſchung rother, gelber und grüner Strahlen, die, wie Sie ſchon wiſſen, reines Gelb geben. Ebenſo ſchließt ſich an den violetten Rand V ein dunkelblauer aus Blau und Violett, ein heller blauer aus Grün, Blau und Violett an, und zwiſchen dem rothgelben und dem blauvioletten Rande iſt die weiße Fläche weiß, weil in der Richtung von dorther alle Arten Farbenſtrahlen zum Auge gelangen.

Ein ſehr ſchmaler Streif Aa′ würde gar kein Weiß in der Mitte geben,

weil der äußerſte rothe Strahl r′E aus einer Gegend kömmt, wo ſich noch gar kein Blau und Violett mit dem Roth miſcht; das gelbe Bild würde ſich hier, etwas mit dem rothen gemiſcht, an das rothe, das grüne Bild an das gelbe, das blaue an das grüne anſchließen und ſo der ſchmale weiße Faden eine breitere, alle Farben darſtellende Fläche darbieten.

So wie wir vorhin die weiße Fläche oben mit rothem und gelbem Rande, unten mit violettem und blauem Rande umgeben ſahen, ſo wird, wenn noch immer die Brechung als herunterwärts gehend, den Gegenſtand in einer tiefern Lage zeigend, angenommen wird, eine ſchwarze Fläche den violetten und blauen Rand oben, den rothen und gelben Rand unten zeigen. Die ſchwarze Fläche liege auf einem weißen oder auf einem grauen Grunde, ſo iſt dieſe angrenzende Fläche nun offenbar diejenige, die wir lichtausſendend nennen müſſen, ſtatt daß die ſchwarze als kein Licht gebend angeſehen wird oder doch höchſtens nur ſehr wenig Licht von ſich giebt.

Bedienen wir uns der vorigen Figur, ſo kömmt nun von rR gar kein rothes Licht, von vV gar kein violettes Licht, und weil die erſten gelben, grünen, blauen Strahlen, die nämlich oberhalb A ausgehen, gewiß zwiſchen r und v liegen müſſen, ſo ſieht das Auge E zwiſchen v und R gar kein Licht; hier erſcheint die ſchwarze Fläche ſchwarz. Zwiſchen v und r erſcheinen bei v violette, bei r′ ſchon violette, blaue und grüne Strahlen, bei r alle Farbenſtrahlen, alſo wenn bei A die ſchwarze Fläche an eine weiße grenzt, volles Weiß, und dieſes Weiß geht durch Blau und Violett in das Schwarz über. An der andern Seite fehlen die rothen Strahlen nur bis R, und zwiſchen R und V gehen zunächſt an R rothe, dann rothe, orangefarbne, gelbe, dann in einem noch etwas mehr von R entfernten Punkte alle Farben vom Roth bis zum Grün, die in der Miſchung Gelb geben, endlich bei V alle Farben hervor, und es iſt daher an der untern Seite vom Schwarz an ein Uebergang durch Roth und Gelb zum Weiß.

Wenn der ſchwarze Streif zu ſchmal iſt, ſo daß die Grenze R der fehlenden rothen Strahlen nicht über die entgegengeſetzte Grenze v der fehlenden violetten Strahlen hinüber reicht, ſo entſteht eine Miſchung der rothen und blauen Strahlen, und die ſchmale ſchwarze Fläche erſcheint gar nicht mehr ſchwarz, ſondern durchaus farbig und zwar ſo, daß vom Weiß ein Uebergang durch Gelb in ein pfirſichfarbenes Roth und von dieſem durch Blau wieder ein Uebergang in Weiß geſehen wird. Ich habe, um dieß deutlich zu machen, wohl nicht nöthig, den Weg der einzelnen durch das Prisma gehenden Farbenſtrahlen zu zeichnen, ſondern es wird genug ſeyn, ſo wie VIII. Fig. 18 es zeigt, die Lücke in den rothen Strahlen rR, in den grünen gG, in den violetten vV bemerklich zu machen; bei r ſieht das in E ſtehende Auge noch alle Farben, alſo Weiß; bei g alle Farben vom Grün bis Violett, alſo Blau (indem die Miſchung Grün, Blau, Violett die Mittelfarbe giebt); bei R oder v eine Miſchung von Roth und Violett, die ſich pfirſichfarben oder hellroth darſtellt; bei G fehlt das Violett und Blau, daher Roth, Gelb, Grün

ſich als Gelb darſtellen; bei V endlich erſcheint Weiß, weil alle Farben wieder zuſammen kommen.

Begrenzung der durch Brechung im Prisma geſehenen Gegenſtände.

Das Prisma, dieſes in der Farbenlehre einen faſt unerſchöpflichen Reichthum von Erſcheinungen darbietende Werkzeug, giebt uns Gelegenheit zu noch mehreren Betrachtungen. Wenn Sie durch das Prisma ſehen, ſo bemerken Sie eine Begrenzung der mit farbigen Rändern verſehenen Gegenſtände, und an dieſe ſchließen ſich geſpiegelte, nicht farbig erſcheinende Gegenſtände an. Iſt der brechende Winkel nach unten gekehrt, etwa ſo, daß die dem Auge zunächſt liegende Seitenfläche ziemlich vertical iſt, ſo bemerkt man bald, daß die geſpiegelten Gegenſtände diejenigen ſind, die ſich über der zu oberſt liegenden Seite des Prisma's befinden, und daß die Begrenzung der farbig erſcheinenden Gegenſtände da liegt, wo die Verlängerung BD (VIII. Fig. 19) der Seite AB hin trifft. Aber hiebei bemerkt man etwas Auffallendes, das ſich am deutlichſten zeigt, wenn man das Prisma ſo hält, daß jene Grenze der farbigen, durch Brechung geſehenen Gegenſtände theils auf den mit weißen Wolken bedeckten hellen Himmel, theils auf eine graue oder dunkle Wand fällt, und wenn man oberhalb des Prisma's einen weißen Bogen Papier CE hält, um dieſen geſpiegelt, ſich an jene Grenze der durch Brechung geſehenen Gegenſtände anſchließend, zu ſehen. Alsdann endigt ſich oben das Helle des Himmels in einen gelben und rothen Rand, da wo dieſe Helligkeit glänzender als die Weiße des Papieres iſt; aber an das gegen die dunkle Wand abſtechend weiße Papier, wo dieſes heller als die Wand iſt, ſchließt ſich ein blauer und violetter Rand, jenen gelben und rothen fortſetzend, an. Von den letzten noch ſichtbaren Punkten Ff des weißen Himmels nämlich kommen die gebrochenen Strahlen rH roth, vH violett in das Auge H; die violetten miſchen ſich mit den rothen, gelben, grünen eines tiefer liegenden Punktes und zeigen dieſen noch weiß, ſtatt daß die rothen Strahlen ungemiſcht als Rand übrig bleiben, an welchen rothen Rand ſich aus den früher angegebenen Gründen noch ein gelber als Uebergang zum Weiß anſchließt. Umgekehrt iſt es da, wo eine dunkle Wand in der Gegend Ff ſich befindet, die wir, da ſie weniger Licht ausſendet, hier als völlig lichtlos betrachten dürfen. Der erſte Lichtſtrahl, der uns durch vollkommene Spiegelung ſichtbar wird, iſt eh, der nach G unter einem Winkel hGB, der = rGA iſt, gelangt; aber von dieſem kann der rothe Antheil, als weniger gebrochen und als bei G eine geringere Brechung leidend, bei G noch nach der Richtung Ga hervordringen, während der blaue und violette Antheil ſchon gegen das Auge H zu reflectirt wird; darum erſcheint der Rand des weißen Papiers oder vielmehr der Rand des in voller Spiegelung deutlich und lebhaft geſehenen Theiles des weißen Papiers violett und blau.

Etwas genau Entſprechendes zeigt der Sonnenſtrahl im finſtern Zimmer. Dreht man das Prisma ſo, daß der Sonnenſtrahl eh nach der Richtung Ga aus dem Prisma hervorgehend nur noch kaum aus dem Glaſe hervordringen

kann, ſo ſieht man in dem Farbenbilde a das Violett und Blau zuerſt verſchwinden, während die folgenden Farben ſich noch bei a zeigen; dagegen aber nimmt das geſpiegelte Bild, das man bei O wahrnimmt, ſtatt des reinen Weiß eine blauliche Farbe an, zum Zeichen, daß die bei a fehlenden blauen und violetten Farbenſtrahlen ſich jetzt mit dem Spiegelbilde O verbunden haben. Dreht man das Prisma noch etwas weiter, ſo daß bei a alle Farben verſchwinden und kein einziger Farbenſtrahl mehr bei G hervorbringt, ſo iſt das Spiegelbild O lebhafter und weiß geworden; vorhin nämlich beſtand es zuerſt nur aus den wenigen allemal an der Hinterfläche reflectirten Strahlen, dann kamen die violetten und blauen ſchon vollkommen reflectirten Strahlen hinzu, endlich zeigt ſich das Sonnenbild durch alle reflectirte Strahlen glänzender, indem die vollkommene Spiegelung eintritt.

So ließen ſich noch viele einzelne Erſcheinungen des Prisma's genauer verfolgen, aber es iſt Zeit, dieſen Gegenſtand, ſo weit nämlich vom genauen Wege der Lichtſtrahlen durch das Prisma die Rede iſt, zu verlaſſen. — Daß die farbigen Bilder, die zugleich vervielfältigten Bilder, die wir durch geſchliffene Steine, durch geſchliffene Cryſtallgläſer, durch regelmäßig vieleckige Gläſer ſehen, ganz hieher gehören, verſteht ſich von ſelbſt.

Fünfunddreißigſte Vorleſung.

Ungleiche Brechung der Farbenſtrahlen bei Linſengläſern.

Die ungleiche Brechung, welche bei den verſchiedenfarbigen Strahlen ſtatt findet, hat offenbar auch Einfluß auf die Wirkung der Linſengläſer. Wir richteten vorhin bei der Angabe der Brennweite unſre Betrachtung nur auf eine feſt beſtimmte Brechung der Strahlen, und erhielten ſo, wenigſtens für Strahlen, die nicht allzuweit von der Mitte des Glaſes einfielen, einen einzigen beſtimmten Brennpunkt; aber wenn nun die rothen Strahlen weniger, die violetten Strahlen mehr gebrochen werden, ſo kann offenbar von einem vollſtändigen Zuſammenkommen des Lichtes in einem Punkte nicht mehr die Rede ſeyn, indem der Brennpunkt für rothe Strahlen gewiß weiter vom Glaſe ab liegt, als der Brennpunkt für blaue Strahlen, ebenſo wie er bei der geringeren Brechung des Waſſers entfernter liegt, als bei der ſtärkeren Brechung des Glaſes. Dieſe Verſchiedenheit des Erfolges für ungleichfarbige Strahlen läßt ſich auch an unſern gewöhnlichen Linſen wahrnehmen, wenn wir das Sonnenlicht durch ſie ſammeln. Wenn die Sonnenſtrahlen AB, CD (VIII. Fig. 21) auf das Glas fallen, ſo werden die im Sonnenlichte enthaltenen violetten Strahlen in U, die rothen, als weniger gebrochen oder weniger von ihrer parallelen Richtung abgelenkt, erſt in V in einen Punkt vereinigt, und der ganze Raum zwiſchen U, V iſt als eine Reihe von Brennpunkten zu

betrachten. Fängt man das Licht in der Gegend pq auf einer weißen Tafel auf, ſo erhellt leicht, daß in der Mitte des Strahlenkegels alle Arten farbiger Strahlen vereinigt ſind, alſo in der Mitte der von den geſammelten Strahlen erhellte Raum weiß erſcheint; aber in der Nähe von p und q ſind nur rothe Strahlen, weil alle gelben ſchon vor V zuſammen kommen, und der erhellte Raum erſcheint daher, weil das, was ich eben bemerkt habe, gegen alle Ränder hin ſtatt findet, mit einem rothen Rande umgeben, der gegen die Mitte hin in Gelb, dann in glänzendes Weiß übergeht. Stellt man dagegen in rs eine weiße Tafel auf, ſo ſind hier die violetten Strahlen ſchon weit aus einander gegangen, und während der erhellte Kreis, der ſich uns zeigt, in der Mitte weiß iſt, ſehen wir ihn mit einem blauen und violetten Rande umgeben. Jede Beobachtung des nicht ganz geſammelten Sonnenbildes beſtätigt die Richtigkeit dieſer Ueberlegung; denn es erſcheint mit einem rothen Rande umgeben, wenn man es zu nahe an dem Linſenglaſe auffängt, bei zu großer Entfernung aber mit einem blauen Rande umgeben.

Wenn ein Microſcop ſehr genau die rothen Gegenſtände zeigt, ſo iſt es für die blauen nicht ganz ſtreng richtig geſtellt, und weiße Gegenſtände geben kein ganz reines Bild, weil man offenbar nicht zugleich die rothen und blauen Strahlen, die im Weiß enthalten ſind, parallel hervorgehend erhalten kann, wenn ſie von einerlei Punkte ausgehen, aber dann auch das Bild im Auge nicht rein entſtehen kann. Sehen wir nämlich jetzt von der Frage (die wir ſpäter vornehmen wollen) ab, ob das Auge ſelbſt eine Verſchiedenheit der Brechung zuläßt, ſo iſt gewiß, daß die von A (VIII. Fig. 22) ausgehenden rothen Strahlen divergirend, wie FG, DE, aus dem Linſenglaſe hervorgehen werden, wenn die violetten FI, DH parallel ſind; vereinigt alſo das Auge die violetten auf der Netzhaut, ſo werden die rothen dort noch nicht vereinigt, ſondern erleuchten noch einen kleinen Kreis auf der Netzhaut, ſo daß ſie das ganze Bild undeutlich machen. Das Auge ſelbſt, wenn wir es bloß als einfache Linſe betrachten, muß dieſen Fehler eher vergrößern als verkleinern, da auch im Auge die rothen Strahlen am wenigſten gebrochen werden müſſen und alſo um ſo mehr ihren Vereinigungspunkt erſt hinter der Netzhaut finden würden. Um aber die Frage, ob denn nicht auch das Auge für ſich allein uns dieſe Undeutlichkeit zeigen müßte, zu beantworten, bemerke ich Folgendes. Wenn die Oeffnung einer Linſe, der freie Raum lm, welcher Licht auffängt (VIII. Fig. 23), ſo klein iſt, wie bei dem Auge, ſo iſt der Nachtheil, der aus der Farbenzerſtreuung und der ungleichen Brechbarkeit hervorgeht, viel weniger erheblich. Mag nämlich auch der Strahlenkegel der rothen Strahlen ſeine genaue Spitze ein wenig hinter der Netzhaut ab haben, ſo wird doch der Kreis, den ab in dem ſehr ſchmalen Kegel ghp abſchneidet, nur klein ſeyn, und die geringe Unvollkommenheit des Bildes im Auge, die daraus entſteht, ſcheint keine erheblichen Nachtheile zu bringen; hierzu kommt wahrſcheinlich noch, daß die Lichtſtrahlen bis zu einer gewiſſen, wenn auch ſehr geringen, Tiefe in die Netzhaut eindringen, wodurch wohl in einigem Grade die Wirkung

aufgehoben werden kann, welche aus der für die verſchiedenen Farben etwas verſchiedenen Lage der Vereinigungspunkte der Strahlen hervorgeht.

Um dieſem Nachtheile bei Vergrößerungsgläſern vorzubeugen, hat man eine einfarbige Beleuchtung vorgeſchlagen. Sie ſehen nämlich leicht ein, und die weitere Folge ſpäterer Betrachtungen wird es noch mehr beſtätigen, daß bei völlig einfarbiger Beleuchtung die Gegenſtände auch nur die dieſer Farbe entſprechenden Strahlen ausſenden können, wodurch dann die Zerſtreuung der Farben ganz wegfällt. Ein andres Mittel zur Abhülfe wäre bei einfachen Linſen, einen durchſichtigen Körper aufzuſuchen, der keine allzu ungleiche Brechung der verſchiedenen Strahlen gäbe, und in dieſer Hinſicht haben die Microſcop-linſen von Saphir, die man jetzt anwendet, einen Vorzug, indem der Saphir das Licht etwas ſtärker bricht als Glas und daher bei gleichen Oberflächen eine kürzere Brennweite giebt, aber das Licht weniger zerſtreut als Glas und daher weniger Undeutlichkeit wegen der Farben giebt. Dieſe Saphirlinſen, ſo wie Pritchard's Diamantlinſen, welche eine ſehr kurze Brennweite bei mäßiger Krümmung der Oberflächen haben, ſcheinen unter den einfachen Linſen in dieſer Hinſicht am brauchbarſten zu ſeyn.

Achromatiſche Prismen.

Aber eine weit entſchiednere Abhülfe der Farbenzerſtreuung gewähren die zuſammengeſetzten Objectivgläſer, die man bei Microſcopen ſo gut wie bei Fernröhren anwendet. Ehe ich von dieſen rede, muß ich auf einige Augenblicke zu Newton und zu den Schlüſſen, die er an ſeine Entdeckungen knüpfte, zurückgehen. Newton machte die richtige Bemerkung, daß in dieſer Farben-zerſtreuung ein Hauptgrund der Unvollkommenheit der dioptriſchen Fernröhre liege, und da er glaubte, daß die Farbenzerſtreuung in gleichem Maaße mit der Brechung bei allen Körpern gleichmäßig wachſe, ſo gab er den Gedanken an Verbeſſerung der dioptriſchen Fernröhre gänzlich auf. Dieſes war der Grund, warum er die Anwendung der Spiegelteleſcope anempfahl, weil dieſe der Farbenzerſtreuung von Seiten des Spiegels gar nicht unterworfen ſind und die Undeutlichkeit, die aus der ungleichen Brechung der Farben im Oculare hervorgeht, wenigſtens bei weitem nicht ſo bedeutend iſt. Die Spiegel nämlich werfen alle Arten von Strahlen ungetrennt zurück und geben von weißen Strahlen ein weißes Bild, das, bei gehörig ausgeführter Form des Spiegels, alle von einem Punkte ausgehende Strahlen auch genau in einem Punkte vereinigt zeigen muß. Newton's großes Anſehen iſt wohl Urſache geweſen, daß man die Verbeſſerung der Refractoren wirklich lange Zeit ganz vernachläſſigte; aber er hatte ſich in der Meinung, daß die Farbenzerſtreuung auf eine beſtimmte Weiſe an die Brechung gebunden ſey, geirrt, und als Dollond, durch Euler's Unterſuchungen veranlaßt, dieſen Gegenſtand genauer unterſuchte, zeigte es ſich, daß man durch zwei verbundene Prismen aus verſchiedenen Glasarten eine Brechung ohne alle Farbenzerſtreuung erhalten könne.

Wenn man zwei gleiche Prismen (VIII. Fig. 24) ſo verbindet, daß ihre

Seiten HE, IB und alſo auch HG, CI parallel werden, ſo erhellt leicht, daß alle Farbenzerſtreuung, aber auch alle Brechung aufgehoben wird; ein einfallender Strahl AB wird zwar in B gebrochen, in C wieder gebrochen, aber da HG, IK parallel ſind, ſo iſt im zweiten Prisma DE mit BC, dann aber auch AB mit EF parallel. Fallen alſo bei B rothe, gelbe, blaue Strahlen, im weißen Strahle vereinigt, in einerlei Richtung ein, ſo gehen ſie auch in EF wieder parallel fort und bringen den Eindruck des Weiß im Auge hervor. Anders würde es ſeyn, wenn zwar die mittleren Strahlen, wofür wir die ungefähr an der Grenze des Grün und Gelb im Farbenbild liegenden annehmen, gleich gebrochen würden, aber die Farbenzerſtreuung im zweiten Prisma größer wäre, als im erſten. In dieſem Falle würde es für jene mittleren Strahlen noch immer gelten, daß EF mit AB parallel wäre; aber da das Roth im zweiten Prisma weniger, das Violett im zweiten Prisma mehr, als im erſten gebrochen wird (denn das eben iſt es, was wir ſtärkere Farbenzerſtreuung nennen), ſo wird bei den äußerſten Farbenſtrahlen jene Zurückführung zu der parallelen Richtung nicht eintreten, ſondern der rothe Strahl Ef, der violette Ef′ werden divergirend hervortreten, ein Auge bei F wird den Gegenſtand A farbig ſehen, obgleich bei den mittleren Strahlen alle Brechung aufgehoben iſt. Eben dieſe Verbindung von zwei ungleichartigen Prismen kann aber nun auch umgekehrt dienen, die ſämmtlichen Farbenſtrahlen in einen weißen Strahl zu vereinigen, während doch alle eine Brechung erlitten haben, alſo nicht wieder mit dem einfallenden Strahle parallel geworden ſind. Um die Erreichung dieſes Zweckes am ſchnellſten zu überſehen, ſcheint es mir am beſten, zwei etwas ungleiche Prismen (VIII. Fig. 25) anzunehmen, und zwar das ſchmalere aus dem Körper, welcher die Farben am ſtärkſten zerſtreut; den mittleren Strahlen lege ich noch immer gleiche Brechung in den beiden Prismen bei. Tritt nun ein weißer Lichtſtrahl bei B ſenkrecht ein, ſo gehen alle ſeine Farbenſtrahlen ungebrochen bis C durch, werden aber hier ungleich gebrochen und erreichen in etwas verſchiedenen Richtungen das zweite Prisma. Da die beiden Seiten LM, NO parallel ſind und die mittleren Strahlen im zweiten Prisma ebenſo ſtark als im erſten gebrochen werden, ſo iſt für ſie DE mit BC parallel, aber dieſer Strahl iſt nicht ſenkrecht auf KM, er wird alſo nach EF gebrochen fortgehen. Der rothe Strahl leidet bei D eine etwas geringere Brechung als bei C, er weicht daher von der Richtung AC unterwärts ab, und aus demſelben Grunde weicht der violette Strahl oberwärts, nach einem höhern Punkte zu gehend, ab; indem ſie ſo die Seite KM erreichen, macht der mittlere Strahl einen etwas ſpitzen Winkel mit EK und wird daher in E etwas unterwärts gebrochen; der rothe Strahl, deſſen Richtung etwas mehr unterwärts ging, der aber jetzt weniger gebrochen wird, kann alſo bei richtiger Wahl des Prisma's mit dem mittleren Strahle parallel werden oder wenigſtens wird die Ablenkung vom mittleren Strahle unterwärs, die er ſchon hatte, vermindert, und ebenſo wird die kleine Ablenkung oberwärts, die der violette Strahl hatte, durch ſeine ſtärkere Brechung zum Theil oder ganz aufgehoben.

Dieſe Ueberlegung zeigt wohl deutlich, daß es möglich iſt, einen einfallenden weißen Strahl ſo gebrochen zu erhalten, daß er von ſeiner Richtung abweicht, alſo wirklich gebrochen iſt, dennoch aber alle Farbenſtrahlen in paralleler Richtung enthält, das iſt als weißer Strahl erſcheint. Zwei ſo zuſammen geordnete Priſmen bilden ein *achromatiſches*, farbenfreies Priſma, welches aber nur da entſtehen kann, wo zwei durchſichtige Körper von *ungleicher* Farbenzerſtreuung verbunden werden. Als ſolche Körper, die eine ſehr ſtarke Farbenzerſtreuung geben, hat man ſchon früh diejenigen Glasarten, die viel Blei enthalten, namentlich das engliſche Flintglas, kennen gelernt. Wenn man nach der oben angeführten *Fraunhofer*'ſchen Beſtimmung ſich einen genau im Sonnenbilde beſtimmten rothen, grünen und violetten Strahl bemerkt, von denen der erſte dem einen Ende des Farbenbildes, der zweite der hellſten Gegend des Farbenbildes, der dritte dem letzten Ende des Farbenbildes ziemlich nahe liegt, ſo findet man bei zwei von *Fraunhofer* angewandten Glasſorten

beim Tafelglaſe 1,5258; 1,5330; 1,5466,
beim Flintglaſe 1,6277; 1,6420; 1,6711

als die Brechungsverhältniſſe; das heißt, wenn ein weißer Lichtſtrahl 1 Grad vom Einfallslothe abweichend die innere Seite des Glaſes erreicht, ſo iſt für den in die Luft hervorgegangenen Strahl der Winkel mit dem Einfallslothe

1) beim Tafelglaſe =	1,526 Gr. =	1°	31′	32″	für den rothen,
	1,533 Gr. =	1	31	59	für den grünen,
	1,547 Gr. =	1	32	49	für den violetten,
2) beim Flintglaſe =	1,628 Gr. =	1	37	41	für den rothen,
	1,642 Gr. =	1	38	32	für den grünen,
	1,671 Gr. =	1	40	16	für den violetten.

Bei jenem iſt die Abweichung des violetten vom rothen nur 77″, das iſt $^{77}/_{5520}$ oder ungefähr $^{1}/_{71}$ der ganzen mittleren Brechung, bei dieſem dagegen 155″, das iſt $^{155}/_{5910}$ oder ungefähr $^{1}/_{38}$ der ganzen mittleren Brechung, die Farbenzerſtreuung alſo hier größer.

Achromatiſche Linſen.

Die Möglichkeit, farbenfreie Objectivgläſer darzuſtellen, läßt ſich nun wohl nicht bezweifeln, und es läßt ſich auch der Grund der Berechnungen, welche zur Angabe achromatiſcher Gläſer führen, ohne Schwierigkeit überſehen. Um dieſen Grund möglichſt einfach darzuſtellen, muß ich Sie zuerſt darauf aufmerkſam machen, daß man alle Brechung der Strahlen aufheben, damit aber auch den Zweck des Objectivs im Fernrohre ganz aufheben würde, wenn man zwei Linſen von einerlei Glaſe, deren eine genau ſo concav wie die andre convex geſchliffen wäre, verbinden wollte. Alsdann nämlich würde die Vorderfläche des zweiten Glaſes ſich genau an die Hinterfläche des erſten anlegen, beide Gläſer würden nur ein Glas bilden und die vierte Fläche würde mit der erſten faſt genau parallel ſeyn; dadurch würde, wie bei unſern Uhrgläſern mit parallelen Oberflächen, alle Brechung ſo gut wie ganz wegfallen. Wählen

wir dagegen, noch immer von gleichem Glaſe, ein minder concaves Glas mit Beibehaltung jenes convexen, ſo iſt der Erfolg, daß die im voranſtehenden convexen Glaſe gebrochenen, nach dem Brennpunkte F (VIII. Fig. 26) zu gehenden Strahlen im concaven Glaſe zwar etwas minder convergent gemacht werden, aber doch noch in einem entlegneren Punkte f, als dem jetzigen Brennpunkte zuſammen kommen. Und nun wird ſich der Erfolg leicht verſtehen laſſen, den es haben muß, wenn die concave Linſe eine Flintglaslinſe von ſtärker zerſtreuender Brechung iſt. Offenbar müſſen wir auch hier ihre Concavität ſo wählen, daß ſie die in der erſten Linſe eingetretene Brechung nicht ganz ausgleicht; die Flintglaslinſe muß daher eine viel geringere Concavität haben, die Halbmeſſer ihrer concaven Oberflächen müſſen größer ſeyn, als die Halbmeſſer der convexen Oberflächen bei der Tafelglaslinſe, und das um deſto mehr, je mehr die mittlere Brechung im Flintglaſe größer iſt, als in dieſem; haben wir ſie aber ſo gewählt, ſo erhellt die Möglichkeit einer Ausgleichung derjenigen Ungleichheit, die bei der erſten Linſe aus der ungleichen Brechung verſchiedener Farbenſtrahlen entſtanden iſt. Hätte jene convexe Linſe allein gewirkt, ſo wiſſen Sie, daß der Brennpunkt der rothen Strahlen etwa in F′, der der violetten Strahlen in F′′ liegen würde. Rückt nun der Brennpunkt der mittleren Strahlen vermöge der Wirkung der zweiten Linſe nach f hinaus, ſo erhellt, daß dieſes Hinausrücken bei den rothen Strahlen weniger, bei den violetten mehr betragen wird; denn da die rothen hier in ſtarkem Maaße weniger, als die gelben und grünen gebrochen werden, ſo rückt F′ nicht in gleichem Maaße wie F hinaus, und umgekehrt findet für die violetten, die in ſtarkem Maaße mehr gebrochen werden, ein ſtärkeres Vorrücken ſtatt, ſo daß es möglich iſt, alle dieſe drei Brennpunkte völlig oder ſehr nahe in einem Punkte f zu vereinigen. Ein Beiſpiel wird dieß vollends deutlich machen.

Wenn man eine Linſe von dem oben angenommenen Tafelglaſe an beiden Seiten gleich in Schalen ſchleift, deren Halbmeſſer 60 Zoll iſt, ſo vereinigen ſich die Strahlen der drei dort angeführten Farben, die rothen in einer Brennweite von 57,162, die grünen von 56,286, die violetten von 54,888 Zoll; es iſt daher ganz deutlich, daß, wenn man in 57 Zoll Entfernung eine Tafel aufſtellen wollte, jeder leuchtende weiße Punkt nicht einen einzigen Punkt des Bildes, ſondern wegen der hier ſchon ſtark aus einander gehenden violetten Strahlen einen kleinen Kreis erhellen würde, da der rothe und violette Brennpunkt um 2,274 Zoll von einander entfernt ſind. Man verbindet daher mit dieſem Glaſe eine hohle Flintglaslinſe, deren Zerſtreuungspunkt für die mittleren Strahlen 96,73 Zoll entfernt iſt. Eine ſolche Linſe hätte ihren Zerſtreuungspunkt für parallel einfallende rothe Strahlen in 98,90 Zoll, für violette Strahlen in 92,53 Zoll Entfernung; aber den Punkt, wo ſie, dicht an der vorigen anliegend, die mittleren Strahlen vereinigt, finden wir in 134,61 Zoll, denjenigen, wo ſie die rothen vereinigt, in 135,31 Zoll, endlich den, wo ſie die violetten vereinigt, in 134,90 Zoll Entfernung. Die mittleren und violetten ſind alſo faſt ganz genau vereinigt, und die rothen, die vorhin um 2¼ Zoll von den violetten

entfernt vereinigt wurden, ſind doch jetzt nur $^2/_5$ Zoll von dieſen entfernt unter ſich vereinigt. Die Vereinigung aller iſt alſo wenigſtens in hohem Grade beſſer als vorhin zu Stande gebracht, zumal da bei einem entfernteren Brennpunkte das Auseinandergehen der Strahlen in $^1/_2$ Zoll Entfernung auch viel weniger beträgt, als bei einem nähern Brennpunkte.

Die Herſtellung ſolcher achromatiſcher Objective aus einer convexen Linſe von Tafelglas oder Kronglas und einer concaven ſchwächer gekrümmten Linſe von Flintglas unterliegt dann ſehr großen Schwierigkeiten, wenn das Objectiv von beträchtlicher Größe ſeyn ſoll, weil die zu verwendenden Glasſtücke eine vollkommene Gleichmäßigkeit beſitzen müſſen.[1] Beſonders ſchwer iſt es, das Flintglas, welches durch beigemiſchte Bleitheile ſeine ſtarke Brechungs- und Zerſtreuungskraft erhält, ganz frei von Streifen und andern Ungleichartigkeiten herzuſtellen; daher iſt die Einrichtung der ſogenannten dialytiſchen Fernröhre, die zuerſt von Littrow vorgeſchlagen und in großer Vollkommenheit von Plößl ausgeführt wurde, eine ſehr zweckmäßige, indem ſie für eine gleiche Objectivöffnung nur eine Flintglaslinſe von reichlich halb ſo großem Durchmeſſer fordert, als die ältere Einrichtung. Dieſer Vortheil wird dadurch erreicht, daß die concave Correctionslinſe von Flintglas nicht mit der convexen Objectivlinſe von Kronglas verbunden, ſondern in beträchtlichem Abſtande von derſelben an einer Stelle angebracht wird, wo der geſammte nach der Blendung hin convergirende Lichtkegel ſchon ſehr im Durchmeſſer abgenommen hat. Bei paſſender Stellung und Geſtalt der Correctionslinſe können dann ebenſo wohl die Brennpunkte für zwei verſchiedene Farbenſtrahlen vereinigt werden, und zugleich wird der zweite beträchtliche Vortheil erlangt, daß dieſe Fernröhre bei übrigens gleichen Leiſtungen faſt um ein Drittheil kürzer ſind, als die nach Dollond's Art conſtruirten.

Obgleich nun dieſe Angaben wohl zeigen, daß man der Befreiung von Farben ſehr nahe kommen kann, ſo ſtehen doch der völligen Farbenloſigkeit große Schwierigkeiten entgegen, und damit verbinden ſich noch Schwierigkeiten, die von der ſphäriſchen Geſtalt der Linſen herrühren. Die vorhin geführte Berechnung zeigt ſchon, daß die Vereinigung der violetten und grünen Strahlen nicht zugleich die ganz genaue Vereinigung der grünen und rothen Strahlen herbeiführt; dieſes beruht auf einer Ungleichheit in der Farbenzerſtreuung bei den einzelnen Farben. Sie wiſſen, daß wir nach Fraunhofer's Entdeckung von einem genau beſtimmten rothen, grünen, violetten Strahle, der nämlich einer jener im Sonnenlichte immer gleichen dunkeln Linien benachbart iſt, reden können; geſetzt nun bei dem Tafelglasprisma hätten wir drei Strahlen aufgeſucht, die gleich weit im Farbenbilde aus einander lägen, ſo liegen dieſe im

[1] Unter den dioptriſchen Teleſcopen hat lange Zeit das für die Dorpater Sternwarte von Fraunhofer verfertigte den erſten Platz eingenommen. Die freie Objectivöffnung deſſelben beträgt im Durchmeſſer 9 Zoll, die Brennweite des Objectivs 13 Fuß 4 Zoll. Ein ähnliches Fernrohr, deſſen noch von Fraunhofer herrührendes Objectiv dieſelbe Größe hat, iſt ſeit mehreren Jahren in in Berlin aufgeſtellt, noch größere Fernröhre hat ſeitdem Fraunhofer's Nachfolger März für die in Pulkowa unweit St. Petersburg errichtete Sternwarte angefertigt.

Farbenbilde des Flintglasprisma's nicht gleich weit aus einander, und wir ſagen zum Beiſpiel auch in Beziehung auf die im vorigen Beiſpiele angegebenen Brechungsverhältniſſe, daß die Zerſtreuung zwiſchen Grün und Violett im Flintglaſe in Vergleichung gegen Grün und Roth ſtärker iſt.[1] Wegen dieſes ungleichen Verhältniſſes laſſen ſich durch zwei verbundene Linſen nicht alle Farbenſtrahlen völlig vereinigen, und die Optiker müſſen ſich begnügen, diejenigen Farbenſtrahlen, die am lichtvollſten ſind, gut zu vereinigen, damit die nicht genau in denſelben Brennpunkt zu bringenden Strahlen als die ſchwächeren wenig ſchaden. Nach den unter andern von **Prechtl** gegebenen Anleitungen vereinigt man am beſten das an das Orange grenzende lebhaft rothe Licht mit dem noch recht lichtvollen tiefen Blau; dann liegt freilich ein aus dem äußerſten Roth und dem äußerſten Violett gemiſchtes Bild ein wenig nach der einen Seite, ein ſchwaches aus Grün und Gelb gemiſchtes Bild an der andern Seite des Brennpunktes, aber dieſe Bilder ſind ſchwach, weil die allermeiſten Strahlen der einen Hälfte des Farbenbildes mit den allermeiſten der andern Hälfte faſt ganz zuſammenfallen. Dieſen geringen und bei zwei Linſen unvermeidlichen Chromatismus oder Reſt von Farben bemerkt man z. B. daran, daß der Mond einen ſchwach purpurnen Rand hat, wenn das Ocular ein wenig zu ſehr, einen ſchwach gelbgrünen Rand hingegen, wenn das Ocular nicht weit genug herausgezogen iſt.

Dieſem Mangel könnte man abhelfen, wenn man zwei Körper fände, in welchen zufällig die Zerſtreuung der einzelnen Farben genau einander gemäß wäre, und dieß iſt einer der Gründe, warum **Blair** und **Barlow** der convexen Glaslinſe eine mit Flüſſigkeit gefüllte Linſe beigefügt haben, weil uns hier eine größere Mannigfaltigkeit zur Wahl offen ſteht und Miſchungen verſchiedner Flüſſigkeiten vielleicht ſo angeordnet werden könnten, daß ſie jenen Zweck, alle Farben zugleich aufzuheben, erfüllten. Vorzüglich iſt unter allen Flüſſigkeiten der Schwefelalkohol oder Schwefelkohlenſtoff zweckmäßig gefunden worden, weil er die Lichtſtrahlen außerordentlich ſtark zerſtreut; auch hat **Blair** beſonders ſich bemüht zu zeigen, daß man die Veränderungen, die ſolche Flüſſigkeiten etwa erleiden könnten, bei völlig feſter Einſchließung nicht zu fürchten brauche.

Jener kleine Reſt von Farben, den man bei Anwendung zweier Gläſer nicht wegſchaffen kann, läßt ſich völlig heben, wenn man dreifach zuſammengeſetzte Linſen anwendet; aber dieſe dreifachen Objective ſcheinen doch, weil an den vielen Oberflächen viel Licht verloren geht, nicht zweckmäßig zu ſeyn, und **Fraunhofer's** große Fernröhre zeigen, daß man auch ohne dieſe Zuſammenſetzung etwas höchſt Vortreffliches liefern kann. Um aber doch einen hiebei noch wichtigen Umſtand nicht zu übergehen, muß ich einen Augenblick bei der zweiten, ungleich geringeren Abweichung, die nämlich von der Kugelgeſtalt

[1] Grün und Roth divergirten 27″, Grün und Violett 50″ im Tafelglaſe; da nun im Flintglaſe Grün und Roth 50″ divergiren, ſo ſollten Grün und Violett nur 93″ divergiren, die Erfahrung giebt aber 105″.

herrührt, verweilen. Sie erinnern ſich, daß, ebenſo wie bei großen kugelförmigen Hohlſpiegeln ſtatt eines Brennpunktes eine Brennlinie entſteht, auch bei Linſengläſern, wenn ſie erheblich groß werden ſollen, wenn alſo die Oeffnung des Objectivs bedeutend groß ſeyn ſoll, eine ähnliche Abweichung ſtatt findet und nicht alle von einem Punkte ausgehenden Strahlen auch in einem Punkte des Bildes geſammelt werden. Um dieſer Abweichung willen, die bei einer einfachen Linſe unvermeidlich iſt und bei ſo großen Objectiven, wie namentlich die Fraunhofer'ſchen Fernröhre ſie haben, bedeutend wird, würde man, ſelbſt wenn die Farbenzerſtreuung es nicht forderte, zuſammengeſetzte Objective gern anwenden. In Hinſicht auf die Berechnung der richtigen Geſtalt der beiden Gläſer bieten ſich hier mannigfaltige Schwierigkeiten dar, die jedoch von dem jüngern Herſchel durch die von ihm bekannt gemachte Beſtimmung der Form dieſer Gläſer, noch früher aber von Fraunhofer, welcher ſeinen Gläſern die Form gab, auf welche ſpäter auch Herſchel gekommen iſt, ſehr glücklich überwunden worden ſind. Allerdings iſt auch in Beziehung auf dieſe Abweichung wegen der Kugelgeſtalt keine abſolute Vollkommenheit zu erreichen, indem die mitten zwiſchen Mittelpunkt und Rand einfallenden Strahlen nicht genau mit den im Centrum einfallenden Strahlen zuſammen kommen, wenn man die Randſtrahlen mit den Strahlen um den Mittelpunkt genau vereinigt; aber dennoch wird die Abweichung ſo vermindert, daß wir mit dem, was Fraunhofer auch in dieſer Hinſicht geleiſtet hat, höchſt zufrieden zu ſeyn Urſache haben, ja alle Erwartungen ſind durch ſeine Fernröhre übertroffen worden, und die durch ihn erreichte Vollkommenheit der Fernröhre hat die Aſtronomen in den Stand geſetzt, mit denſelben alles das zu ſehen, was der ältere Herſchel mit ſeinen Spiegelteleſcopen entdecken konnte. Dennoch erwarten wir mit Recht, daß die bisherigen Fortſchritte noch immer zu weiteren Fortſchritten führen werden, und dürfen unſern Nachkommen wohl das Glück, immer noch heller zu ſehen, immer noch tiefer in die Kenntniß des Sternenhimmels einzudringen, mit Sicherheit vorausſagen.

Es iſt Zeit, daß ich dieſen Gegenſtand verlaſſe, und ich erwähne daher nur noch kurz, daß allerdings auch die Oculare des Fernrohrs noch eine Farbenzerſtreuung veranlaſſen und einen farbigen Rand hervorbringen, wenn auch das vom Objectivglaſe hervorgebrachte Bild ganz rein von allen Farben wäre. Dieſen Farbenrändern kann man durch eine angemeſſene Verbindung mehrerer Oculare abhelfen, und die Rückſicht hierauf beſtimmt zum Theil die ſchon früher erwähnte Anordnung mehrerer Ocularlinſen in den Auszugsröhren der Fernröhre und Microſcope.

Farben undurchſichtiger Körper.

Den bisher mitgetheilten Erörterungen über die Farben muß noch die Betrachtung der Erſcheinungen hinzugefügt werden, welche die natürlichen Farben der Körper uns darbieten. Daß die Entſtehung dieſer Farben ohne die ungleichen Farbenſtrahlen des auffallenden Lichtes nicht ſtatt finden könnte, das

geht wohl von ſelbſt hervor, da doch die nicht ſelbſt leuchtenden Körper uns nur durch reflectirtes Licht ſichtbar werden. Der rothe Körper erſcheint roth, weil er den größten Theil der übrigen Lichtſtrahlen abſorbirt und nur die rothen Lichtſtrahlen zurückwirft, wenig vermiſcht mit andern Farbenſtrahlen, der weiße Körper erſcheint weiß, weil er alle Lichtſtrahlen in ziemlich gleichem Maaße abſorbirt und zurückwirft; wenn aber auch die eigenthümliche Beſchaffenheit des einen Körpers ihm nur erlaubt, die rothen Lichtſtrahlen zurückzugeben, während ein andrer für die zerſtreute Reflexion der blauen, ein andrer für die zerſtreute Reflexion aller Strahlen geeignet iſt, ſo muß es doch in der Beleuchtung rothe Strahlen geben, wenn der Körper, den wir roth zu ſehen gewohnt ſind, roth erſcheinen ſoll. Dieſe Behauptung zeigt ſich ſchon in gewöhnlichen Erfahrungen beſtätigt, indem weißes Papier dem rothen Lichte glühender Kohlen ausgeſetzt roth erſcheint u. ſ. w.; aber es laſſen ſich noch auffallendere Verſuche anſtellen, die dieß noch mehr beweiſen.

Wir haben ſchon ſo oft von dem prismatiſchen Sonnenbilde geredet, das auf einer weißen Tafel aufgefangen das Roth, das Grün, das Blau auf eben der Tafel, die wir weiß zu ſehen gewohnt ſind, darſtellt; dieß läßt ſich offenbar in keine andre Erklärung faſſen, als in die, daß die Fläche, die als weiß im Sonnenlichte erſcheinend alle Strahlen faſt genau gleich gut zurückgiebt, uns da, wo nur rothe Strahlen auf ſie fallen, auch nur rothe Strahlen zurückgeben kann, und ſo für alle Farben. Selbſt die im vollen Sonnenlichte blau erſcheinende Fläche zeigt ſich uns roth, aber mit weniger Erleuchtung, wenn ſie im Roth des prismatiſchen Sonnenbildes liegt; ſie warf nämlich im vollen Sonnenlichte vorzüglich die blauen Lichtſtrahlen zurück, und nur ſehr wenige andre Strahlen, die wir zum Beiſpiel am blauen Seidenzeuge als den Spiegelglanz der Oberfläche darbietend beobachten, wurden ebenfalls von ihr zurückgeworfen; daher kann ſie da, wo die blauen Lichtſtrahlen ganz fehlen, uns nur als ſehr wenig Licht gebend erſcheinen, und wo nur rothe Strahlen auffallen, da wird dieſes wenige Licht rothes Licht ſeyn.

Wie die Farben der Körper von der Erleuchtung abhängig ſind, ſehen wir am auffallendſten bei der Erleuchtung durch Lampenlicht. Ich habe ſchon erwähnt, daß ein mit Kochſalz eingeriebener Docht in der Weingeiſtlampe brennend eine Flamme giebt, die durch das Prisma gar kein Roth, kein Grün, kein Blau und auch nur wenig Violett zeigt. Wendet man dieſe Lampe zur Beleuchtung an, ſo erſcheint jeder rein rothe Körper faſt ganz ſchwarz; nur etwas von gelblicher Färbung, die in das Schwarz etwas Braun miſcht, bemerkt man, weil die meiſten Körper doch etwas gemiſchtes Licht, beſonders von glatten Oberflächen, zurückwerfen. Die gelben Körper erſcheinen gelb, ſind aber von den weißen nicht gut zu unterſcheiden; ein Roth, das im Tageslichte ſich nur wenig zum Gelb hinzuneigen ſcheint, iſt jetzt nur gelb, nicht mehr roth. Helles Grün, helles Blau und ſo alle Farben, die noch viele weiße Lichtſtrahlen mit zurückgeben, erſcheinen gelblich grau. Dieſe Erſcheinungen ſind ſo auffallend, daß es ſehr der Mühe werth iſt, ſie ſelbſt zu

ſehen, um ſich von dem Einfluſſe dieſes beinahe einfarbigen gelben Lichtes zu überzeugen.

Man hat Mittel aufgeſucht, um die Menge des farbigen Lichtes, welches die Körper, der eine mehr, der andre minder, zurückwerfen, zu beſtimmen. Lambert hat dazu ein höchſt einfaches Experiment vorgeſchlagen, wodurch ziemlich gut beſtimmt wird, ob ein weißer Körper ebenſo viel rothes Licht als Siegellack oder ein andrer rother Körper zurückwirft. Er legte nämlich das Siegellack neben weißes Papier in ganz gleicher Beleuchtung, betrachtete das Papier durch das Prisma und beobachtete, ob der rothe Rand des weißen Papiers dem mit bloßem Auge geſehenen Roth des Siegellacks gleich erſchien; war das nicht der Fall, ſo mußte ein minder weißes Papier gewählt werden, wenn der rothe Rand ſchöner, glänzender roth, als das Siegellack erſchien; und ſo konnte man ein Weiß auffinden, das ungefähr ebenſo geſchickt zur Zurückwerfung aller Strahlen war, als das Siegellack zur Zurückwerfung des Roth. Statt Lambert's übriger Verſuche, die zuſammengeſetzter ſind, ſcheint mir für einen immer nur oberflächlich zu erreichenden Zweck folgender Verſuch zu genügen. Man lege Papiere vom ſchönſten Weiß, von unvollkommnerem Weiß und von einigen Abſtufungen eines lichteren und dunkleren Grau bereit, und lege eines derſelben im dunkeln Zimmer ſo neben den zu unterſuchenden Körper, daß das prismatiſche Sonnenbild auf beide möglichſt gleich falle. Läßt man nun den rothen Strahl auf Siegellack und Papier zugleich fallen, ſo wird man erkennen, ob beide gleich erſcheinen, und unter den Papieren das angemeſſene auswählen, von welchem man dann mit gutem Grunde ſagen wird, daß die Weiße dieſes Papieres der Röthe des Siegellacks gleich ſey, das iſt, daß das Papier von allen Lichtſtrahlen eine verhältnißmäßig ebenſo große Menge, wie das Siegellack von den rothen zurückgebe. So könnte man ein grünes Blatt in Beziehung auf Gelb, Grün und blau prüfen, welcher Weiße es im gelben, welcher im grünen, welcher im blauen Strahle gleich ſey. Ja man könnte ſogar, da doch ſelbſt das Siegellack auch einige andre Farbenſtrahlen zurückwirft, nach der Quantität der von demſelben herkommenden grünen Strahlen fragen, würde aber dann ein ſehr dunkelgraues Papier wählen müſſen, um den beinahe gänzlichen Lichtmangel zu erhalten, den das rothe Siegellack im grünen Strahle zeigen würde.

Farben durchſichtiger Körper.

Eine andre merkwürdige Betrachtung bieten die durchſichtigen farbigen Körper dar. Auch hier laſſen wir die ſchwierige Frage bei Seite, welche Urſache bei dem einen Körper ein Durchlaſſen gelben Lichtes, bei dem andern ein Durchlaſſen blauen Lichtes hervorbringt, und halten uns nur an die Erſcheinungen ſelbſt, welche eine Eintheilung dieſer Körper in zwei Claſſen zu fordern ſcheinen. Es giebt einige Körper, zum Beiſpiel gelbes Glas, die uns das durchgelaſſene Licht und das reflectirte Licht ziemlich nahe gleichfarbig darſtellen, ſtatt daß andre Körper eine andre Farbe durchlaſſen und eine andre

zurückwerfen. Bei jenen müſſen wir wohl annehmen, daß ſie die übrigen Farben ebenſo größtentheils ganz abſorbiren oder aufheben, wie es bei den undurchſichtigen Körpern mit den ſämmtlichen Lichtſtrahlen ſtatt zu finden ſcheint, die nicht reflectirt werden; das gelbe Glas abſorbirt faſt alle andern Strahlen, wirft von ſeiner hintern Oberfläche oder auch von ſeinen einzelnen Theilchen gelbe Lichtſtrahlen zurück und läßt die übrigen gelben Strahlen durch; die an der Vorderfläche ſpiegelnd reflectirten Strahlen ſind weiß, indem auf ſie der Körper noch nicht einwirkt. Die zweite Claſſe von Körpern abſorbirt allerdings auch Lichtſtrahlen, auch wohl einige mehr als die andern, hat aber doch dabei die beſondre Eigenſchaft, gewiſſe Farbenſtrahlen durchzulaſſen und die übrigen zurückzuwerfen. Das weiße Knochenglas iſt ein ſolcher Körper; es läßt vorzüglich nur die tief rothen Strahlen durch und die allermeiſten andern reflectirt es, ſo daß dieſer Körper blaulich weiß erſcheint, wenn das Licht auf ihn fällt, nämlich weiß, weil ſo viele Farbenſtrahlen gemiſcht reflectirt werden, aber blaulich weiß, weil die rothen, durchgelaſſenen Strahlen in der Miſchung dieſer Farben fehlen und daher das Blau darin überwiegend wird. Wenn man weiße Körper oder ſolche, in deren Färbung Roth iſt, durch dieſe Glasart anſieht, ſo erſcheinen ſie roth; blaue und grüne Körper dagegen erſcheinen beinahe ſchwarz, ſo daß man deutlich an der geringen übrig bleibenden Färbung von Blau oder Grün ſieht, daß dieſe Farbenſtrahlen nur ſehr unvollkommen durchgelaſſen werden. Eben dieſe Eigenſchaft zeigen auch manche flüſſige Körper, indem zum Beiſpiel Milch, wenn die Schicht dünn genug iſt, um noch durchſichtig zu ſeyn, ziemlich eben die Erſcheinungen wie jene Glasart darſtellt. Auffallender noch iſt dieſe Scheidung der ungleichfarbigen Strahlen bei einem Waſſer, das einige Zeit aus Stücken von Rinde des wilden Caſtanienbaumes die Säfte ausgezogen hat. Dieſes Waſſer ſieht ſchmutzig gelbbraun aus, wenn man es ſo gegen das Licht hält, daß die Strahlen durchgehen; dagegen wenn man das Licht ſo auf die Oberfläche fallen läßt, daß man nicht den Spiegelglanz des Sonnenbildes erhält, ſondern die Oberfläche ganz als erleuchtet oder durch zerſtreute Lichtſtrahlen ſich hell zeigend ſieht, erſcheint dieſe blau oder violettlich-blau, ſo daß man ſieht, die am meiſten brechbaren Strahlen werden hier reflectirt, die am wenigſten brechbaren großentheils durchgelaſſen. Aechtes Goldblatt reflectirt beſonders gelbe und rothe Strahlen und läßt grünes Licht durch ſich hindurchgehen.

Wie es ſich mit dieſem Durchlaſſen beſtimmter Farbenſtrahlen verhält, davon giebt die genaue Beobachtung des prismatiſchen Bildes einer Lichtflamme, wenn man dieſe durch blaues Glas betrachtet, ein ſchönes Beiſpiel. Am beſten bedient man ſich hiebei des ſchon mehrmals erwähnten mit Kochſalz eingeriebenen Dochtes, den man in einer Weingeiſtlampe anwendet. Dieſe Flamme — die man, wenn ſie zu breit iſt, durch eine ſchmale Oeffnung betrachten muß — zeigt, wenn man ſie durch das Prisma beſieht, zwei Farbenbilder, eine lebhaft glänzende gelbe und eine davon getrennte, matte violette Flamme. Hält man nun, indem man immer dieſe prismatiſchen Bilder im Auge behält, eine blaue

Glasplatte vor das Auge, ſo nimmt die gelbe Flamme ſtark an Glanz ab, die violette Flamme dagegen wird wenig geſchwächt; bringt man noch eine zweite, eine dritte blaue Glasplatte an, ſo verſchwindet die gelbe Flamme faſt gänzlich, die ſchwache violette aber bleibt übrig und zeigt ſich nun allein faſt noch ebenſo deutlich als ohne Glas. Die gelben Strahlen ſind faſt gänzlich unterdrückt, die violetten faſt gar nicht geſchwächt worden, weil das blaue Glas ſie durchläßt.

Einige Körper laſſen, wie ich auch ſchon früher erwähnt habe, zwei weit von einander entfernt liegende Farbenſtrahlen durch und zeigen ſich daher ungleich, je nachdem ihre Schicht dicker oder dünner iſt. Nach Herſchel's Bemerkung läßt eine Auflöſung von Saftgrün die grünen Strahlen in mäßiger Menge, die dunkelrothen dagegen ſehr wenig geſchwächt durch, und es entſteht daraus die Sonderbarkeit, daß eine dicke Schicht Saftgrün das durchgelaſſene Licht dunkelroth zeigt, ſtatt daß eine dünne Schicht grün erſcheint. Im Sonnenlichte ſind nur wenige jener dunkelrothen Strahlen, aber viele grüne, daher durch eine dünne Schicht, wenn auch jene rothen alle durchgehen und von dieſen grünen nur ein mäßiger Antheil, doch die grünen noch vorherrſchend bleiben; in einer dickern Schicht wird die unvollkommene Durchlaſſung der grünen immer merklicher und die rothen werden endlich, obgleich ihrer weniger waren, überwiegend, weil ſie beinahe ohne Verluſt durchgehen. Es läßt ſich dieß in Zahlen nachweiſen. Wären 10 grüne Strahlen gegen einen rothen im Sonnenlichte, von jenen aber würde bei 1 Linie Dicke nur die Hälfte, bei 2 Linien Dicke nur $1/4$, bei 3 Linien Dicke nur $1/8$, bei 4 Linien nur $1/16$, bei 5 Linien nur $1/32$ durchgelaſſen, ſo wären $10/32$ bei 5 Linien Dicke der Ausdruck für die 10 Strahlen grünen Lichts; das rothe, wenn es ganz ungeſchwächt durchginge, bliebe dagegen immer $= 1$, alſo hier ſchon ſtark überwiegend.

Die merkwürdige Eigenſchaft einiger Körper, ein doppeltes Farbenſpiel darzuſtellen, muß ich hiebei noch erwähnen. Der Opal und einige andre Körper, ſelbſt Miſchungen von Flüſſigkeiten, zeigen als zurückgeworfenes Licht ein Blau, ein blauliches Weiß und ein Orange, das eine bei der einen, das andre bei der andern Stellung hervortretend. Auch hier ſcheint die Zurückwerfung des blauen Lichtes und die Durchlaſſung des gelblichen die Urſache der Erſcheinung zu ſeyn. Indem nämlich die durch den Körper durchgegangenen Strahlen an ſeiner Hinterfläche zurückgeworfen werden, kommen ſie als orangefarben zu dem an der erleuchteten Seite ſtehenden Auge zurück, und es mögen hiezu bei den Steinen die Reflexionen an den einzelnen Schichten noch mehr als die an der äußerſten Hinterfläche beitragen, wodurch dann der geringe Grad von Durchſichtigkeit zugleich auch erklärlich iſt.

Beſonders auffallende Erſcheinungen der Abſorption zeigen auch die luftförmigen Körper, vor allen einige farbige Gaſe. Das ſalpetrigſaure Gas iſt gelb und kann durch bloße Erwärmung [1] immer dunkler und undurchſichtiger

[1] Aehnliche Einflüſſe der Erwärmung, beſonders Farbenänderungen werden auch bei feſten Körpern vielfältig beobachtet und zeigen deutlich, daß die Abſorption der Farbenſtrahlen ſchon durch die

gemacht werden. Zerſtreut man nun einen durch dieſes Gas geleiteten Lichtſtrahl durch das Prisma, ſo zeigt das Farbenbild eine allgemeine Schwächung im violetten Theile und außerdem eine überaus große Menge dunkler Linien, die nach Brewſter's Beobachtungen in ihrer Lage ſehr mit den dunkeln Linien des gewöhnlichen prismatiſchen Farbenbildes übereinſtimmen, nur viel breiter und dunkler ſind. Es wird hierdurch ſehr wahrſcheinlich gemacht, daß die fehlenden Strahlen des Sonnenlichtes durch irgend eine Abſorption vielleicht ſchon in der Atmoſphäre der Sonne ſelbſt und zum Theil gewiß in der Atmoſphäre der Erde verloren gegangen ſind.

Sechsunddreißigſte Vorleſung.

An diejenigen Erſcheinungen, die uns in den letzten Vorleſungen beſchäftigt haben, ſchließt ſich wohl am beſten die Betrachtung der ſo zahlreichen und merkwürdigen optiſchen Erſcheinungen der Atmoſphäre an, deren Erklärung wir aus den im Vorigen angeführten Eigenſchaften des Lichtes und insbeſondere aus der Brechung deſſelben herzuleiten haben.

Strahlenbrechung in der Luft.

Die Atmoſphäre, welche die Erde auf allen Seiten umgiebt, beſteht bekanntlich aus ſehr vielen kugelförmigen Luftſchichten, die nach der Oberfläche der Erde zu immer dichter werden. Die Lichtſtrahlen, welche von den Himmelskörpern ausgehen und aus dem luftleeren Himmelsraume kommend in ſchräger Richtung in die Atmoſphäre eindringen, werden in derſelben gebrochen und zwar erleiden ſie faſt in jedem Augenblicke eine wiederholte Brechung, da ſie nach und nach in immer dichtere Luftſchichten kommen. Dieß hat zur Folge, daß der Weg ſolcher Lichtſtrahlen in der Atmoſphäre eigentlich keine gerade, ſondern eine nach der Erde zu hohle krumme Linie iſt (VIII. Fig. 7). Da wir nun gewohnt ſind, jeden Gegenſtand in der Richtung zu ſuchen, welche die von ihm kommenden Lichtſtrahlen in dem Augenblicke haben, wo ſie unſer Auge erreichen, ſo erblicken wir die Himmelskörper nicht genau an der Stelle des Himmels, wo ſie wirklich ſtehen, ſondern etwas höher, vertical über ihrem wahren Orte, mit einziger Ausnahme der im Zenith gerade über unſerm Scheitel erſcheinenden Sterne, welche genau da ſtehen, wo wir ſie ſehen. In den meiſten Fällen iſt dieſe Verſchiebung nicht bedeutend, aber der Aſtronom bemerkt ſie ſelbſt bei hohen Stellungen der Geſtirne; nach dem Horizonte zu wird ſie immer beträchtlicher und nahe am Horizonte iſt ſie ſelbſt für gewöhnliche Beobachter merklich. Es iſt nämlich einleuchtend, daß bei Geſtirnen, die nahe am Horizonte ſtehen, die Refraction größer, als bei höherem Stande,

Lage und den Abſtand der Atome einigermaßen bedingt wird, wenn auch keine chemiſche Veränderung ſtatt findet.

ſeyn muß, da, wie Sie wiſſen, die Aenderung der Richtung des Lichtſtrahles erheblicher wird, wenn der Winkel, welchen dieſer mit dem Einfallslothe macht, größer iſt. Die Strahlenbrechung verlängert daher das Verweilen der Sonne über dem Horizonte, da ſie uns die Sonne ſchon oberhalb des Horizontes zeigt, während die grade Linie zur Sonne hin noch die Erde ſchneidet, und ebenſo der Untergang der Sonne durch die Strahlenbrechung verzögert wird. Die hieraus entſtehende Verlängerung des Tages beträgt unter mittleren Breiten nur einige Minuten, z. B. in Leipzig nur 7 — 9 Minuten, dagegen unter ſehr hohen Breiten, in der kalten Zone beträgt ſie mehrere Stunden, ja ſelbſt Tage und Wochen, und wird daher für die Bewohner jener Gegenden, die im Winter Tage, ja näher nach dem Pole zu Wochen und Monate lang den Anblick der Sonne entbehren müſſen, ſehr wohlthätig. Ebenſo erklärt ſich, daß die Sonne ſchon dieſſeit des Polarkreiſes im Sommer einen Tag, ja wohl mehrere Tage gar nicht untergeht, was eigentlich, d. h. ohne Strahlenbrechung erſt unter dem Polarkreiſe und jenſeit deſſelben, alſo in der kalten Zone ſtatt finden könnte. — Uebrigens hängt die Brechung nicht nur von der Höhe der Geſtirne über dem Horizonte, ſondern auch von der Beſchaffenheit der Atmoſphäre, namentlich ihrer nach Luftdruck und Wärme veränderlichen Dichtigkeit ab. Bei dem mittleren Zuſtande der Atmoſphäre kann man ungefähr ſagen, daß eine nach dem oberen Sonnenrande gezogene Linie, von einem wenig über die Meeresfläche erhabenen Orte ausgehend, die Meeresfläche in dem Augenblicke berührt, wo der untere Sonnenrand ſich ſchon ſcheinbar aus dem Meere erhebt. Unſre Geſichtslinie, der Weg, in welchem der Strahl zum Auge kömmt, iſt nämlich eine gekrümmte Linie **FED**, die vom untern Sonnenrande ausgehend die Meeresfläche **D** berührt, während die grade Berührungslinie einen höhern Punkt trifft und die grade zu dem untern Sonnenrande hin gezogene Linie **DG** die Erde noch in **H** ſchneidet. Selbſt bei Gegenſtänden auf der Erde wird dieſe Krümmung in erheblichen Entfernungen merklich, ſo daß man beim Nivelliren auf erhebliche Weiten darauf Rückſicht nehmen muß.

So verhält es ſich bei dem gewöhnlichen Zuſtande der Atmoſphäre, wo die Abnahme der Wärme in den höhern Luftſchichten gleichmäßig und nicht ſo ſehr merklich in geringen Höhen ſtatt findet; iſt aber dieſe Abnahme der Wärme in den höhern Luftſchichten unregelmäßig, ſo bemerkt man mancherlei auffallende Phänomene. Um mit einem der bekannteſten anzufangen, deſſen Beobachtung Ihnen gelegentlich gewiß vorgekommen iſt, will ich Sie auf den Untergang der Sonne an ſchwülen Tagen aufmerkſam machen. Sie haben gewiß oft bemerkt, wie dann die Sonne als eine ganz rothe Scheibe, aber auch zugleich als ſehr abgeplattet oder ſtark von der Kreisform abweichend untergeht. Wenn Sie an einem ſolchen Tage Ihr Auge auf die Sonne zu richten anfangen, während ſie noch etwa 2 Grad oder 4 Sonnendurchmeſſer über dem Horizonte ſteht, ſo bemerken Sie ſchon, daß ihr horizontaler Durchmeſſer größer, als ihr Verticaldurchmeſſer iſt, und daß dieſe Ungleichheit mit

jedem Augenblicke erheblicher wird, ja endlich ſich ſelbſt darin wahrnehmen läßt, daß die untere Hälfte der Sonne abgeplatteter, als die obere Hälfte, erſcheint. Dieſes iſt eine Wirkung der in der Nähe des Horizontes ſtark zunehmenden Strahlenbrechung. Wenn bei gewöhnlichem Zuſtande der Atmoſphäre der obere Rand um 32 Minuten, der untere um 33 Minuten gehoben erſcheint, ſo iſt allerdings ſchon der Verticaldurchmeſſer der Sonne um 1 Minute kleiner, als der Horizontaldurchmeſſer, aber das bemerken wir nicht; wenn dagegen der obere Rand z. B. 36 Minuten, der untere 44 Minuten gehoben würde, ſo erſchiene der Verticaldurchmeſſer um ganze 8 Minuten vermindert, alſo nur etwa 24 Minuten groß, ſtatt daß der Horizontaldurchmeſſer gegen 32 Minuten beträgt. Dieſe Erſcheinung findet nach heißen Tagen ſtatt, wenn bei Sonnenuntergang die unteren Luftſchichten ſich bedeutend abkühlen, während in der Höhe noch die am Tage erlangte Wärme ziemlich unvermindert fortdauert. Auch die zuweilen vorkommende Erſcheinung, daß bei Mondfinſterniſſen Sonne und Mond zugleich über dem Horizonte geſehen werden, während ſie doch einander diametral gegenüber oder mit der Erde in gerader Linie ſtehen müſſen, damit der Schatten der Erde den Mond treffen kann, iſt die Wirkung einer ungewöhnlich ſtarken Strahlenbrechung am Horizonte.

Ungewöhnliche Erſcheinungen durch Strahlenbrechung. Luftſpiegelung. Fata Morgana.

Wenn man ſich am Ufer des Meeres oder eines großen Stromes befindet, ſo daß man entfernte Gegenſtände am Ufer über die Waſſerfläche hin ſieht, ſo verbindet ſich mit der erklärten Erſcheinung an der Sonne eine andere. Man ſieht Gegenſtände über der Meeresfläche hervorragen, die man ſonſt ihrer großen Ferne wegen nicht ſehen konnte, die ſich hinter der Wölbung der Meeresoberfläche verbargen, die aber jetzt, weil die Strahlenbrechung eine ſo ſehr bedeutende Krümmung der Lichtſtrahlen veranlaßt, über dem Meere ſichtbar werden. Man bemeekt ferner, daß die Gegenſtände nicht in ihren gewöhnlichen Verhältniſſen erſcheinen, daß ſelbſt Häuſer, die nur eine Meile entfernt ſind und die man immer zu ſehen gewohnt iſt, ganz anders, weniger hoch im Vergleich zur Breite, ſich darſtellen, weil auch bei ihnen die höhere Hebung des unteren Theiles in Vergleichung gegen den oberen ſie als niedriger, ihre verticale Abmeſſung als vermindert zeigt. Dieſe Erſcheinung kann noch auffallender werden, wenn man in ein ganz flaches ebnes Land hineinſieht, indem da bei ſolchem Zuſtande der Luft die hinter einander liegenden Gegenſtände, die ſonſt einander zu verdecken pflegen und dem Auge nur eine beſchränkte Anſicht der nächſten Gegenden geſtatten, nun über einander hervorragen und die ganze hinterwärts liegende Fläche ſich ſo zeigt, wie man ſie von einem hohen Standpunkte aus ſehen würde. Die ganze Gegend liegt Meilen weit vor dem Blicke offen da, ſo daß man ſtatt einer horizontalen Ebne eine ziemlich anſteigende Fläche vor ſich zu ſehen glaubt. Damit dieſe Erſcheinung ſtatt finden könne, müſſen durch ſtarke Erwärmung der oberen

Luftſchichten dieſe dünn genug geworden ſeyn, um den zuerſt vom Gegenſtande mit ſchwacher Neigung aufwärts gehenden Lichtſtrahl wieder herabwärts zu brechen. Dieſes iſt bei der ſphäriſchen Geſtalt der Schichten möglich; denn wenn der Strahl AB (VIII. Fig. 8) in C horizontal geworden iſt, ſo ſollte er in D in eine dünnere Schicht übergehen, weil er aber vom Einfallslothe abwärts gebrochen nicht in dieſe Schicht übergehen kann, ſo wird er unter eben dem Winkel zurückgeworfen, unter welchem er an dieſe Schicht antraf, und ſetzt nun ſeinen Weg herabwärts fort. Der Beobachter in F ſieht dann den Meerhorizont höher als die wahre Horizontallinie FG, ſo wie es bei den vorhin erwähnten Beobachtungen der Fall iſt.

Die Erſcheinung einer Verdoppelung der Gegenſtände, die hiemit öfters verbunden iſt, wird ſich beſſer verſtehen laſſen, wenn ich vorher erzähle, welche Erſcheinungen einem entgegengeſetzten Zuſtande der Atmoſphäre entſprechen. Wir ſind gewohnt, die untere Luft immer als die dichtere und folglich als die das Licht am ſtärkſten brechende anzuſehen; aber bei ſtarker Erhitzung der Erd-oberfläche leidet das Geſetz, daß die tiefern Schichten dichter als die höhern ſind, merkliche Ausnahmen. Die Erde kann leicht 5 Grade wärmer ſeyn, als die Luft in 10 Fuß Höhe, und wenn ſie dann den unterſten Luftſchichten auch nur 2 Gr. Wärme ertheilt, ſo iſt die Luft dort um ein Hundertſtel ausgedehnt, alſo nur noch ſo dicht, wie ſie bei unveränderter Wärme und einem um $3^1/_3$ Linien niedrigeren Barometerſtande ſeyn würde, das iſt nur ſo dicht, als die kältere Luft in 250 Fuß Höhe iſt. Bei dieſem Zuſtande der Luft wird alſo ein wenig von der Horizontallinie abweichender, herabwärts gehender Lichtſtrahl in den unteren Schichten vom Perpendikel abwärts gebrochen, ſeine Neigung gegen den Horizont wird geringer, er wird endlich ganz horizontal, und nimmt dann, wenn er weiter geht, eine immer mehr gegen den Horizont geneigte, aufwärts gehende Richtung an. Wenn man genau die Höhenwinkel, unter welchen ein entfernter Gegenſtand erſcheint, abmißt, ſo findet man in der That, daß die Refraction zuweilen eine herabwärts gehende iſt, und daß dieſes zu den Tageszeiten ſtatt findet, wo die Erde am meiſten erhitzt iſt. Hiemit verbindet ſich nun in völlig ebenen, durch gar keine Hügel unterbro-chenen Gegenden eine Verdoppelung der Gegenſtände. Wenn nämlich A (VIII. Fig. 9) ein Gegenſtand iſt, der ſich ſchon hoch genug über der Erde befindet, um den Schichten großer Erhitzung nicht mehr anzugehören, ſo kann der Lichtſtrahl AB, in ziemlicher Höhe über der Erde fortgehend, mit geringer Brechung nach B gelangen; die grade Linie AB kann dieſen Lichtſtrahl vor-ſtellen. Aber offenbar gelangen von A aus auch Lichtſtrahlen in die tieferen Schichten, und da ſie dort, vorzüglich in der Gegend D, in der erhitzten, ver-dünnten Luft vom Perpendikel abwärts gebrochen werden, ſo nehmen ſie ihren Weg wieder aufwärts, und es iſt möglich, daß ein zweiter von A kommender Lichtſtrahl ADB nach B gelangt, ſo daß ein Auge in B den Gegenſtand A doppelt ſieht, ſowohl in der natürlichen Richtung BA, als in der viel niedri-geren Richtung BD. Beide Lichtſtrahlen ſind offenbar gleich gut geeignet,

den Punkt A ſichtbar zu machen, und dieſer zeigt ſich daher verdoppelt. Eben das findet für die nahe an A liegenden Punkte ſtatt; aber dabei bemerkt man das Auffallende, daß im unteren Bilde oder in der durch den Strahl DB hervorgebrachten Erſcheinung die höheren Punkte a des Gegenſtandes tiefer hinab erſcheinen. Es iſt nämlich nicht ſchwer zu beweiſen, daß ein von a kommender Lichtſtrahl tiefer in die verdünnten Schichten bei DE eindringen muß, um zur horizontalen und zur aufwärts gehenden Richtung zu gelangen, daß aber auf einem ſolchen Wege auch von a ein zweiter Lichtſtrahl nach B gelangen kann und der Gegenſtand Aa nun zum zweiten Male, ſo als ob er in der durch Ff beſtimmten Richtung umgekehrt ſtände, erſcheint.

Durch eben die Betrachtungen, die wir früher einmal anwandten, um zu zeigen, daß von der unter dem Prisma liegenden Schrift dem Auge nichts ſichtbar wird, wenn das Auge ſo ſteht, daß es die volle Reflexion der Lichtſtrahlen von der unteren Seitenfläche des Prisma's erhält, läßt ſich auch hier beweiſen, daß Gegenſtände auf der Oberfläche der Erde jenſeits E nicht mehr von dem Auge in B geſehen werden können. Da nämlich die von E ausgehenden Lichtſtrahlen, ſelbſt wenn ſie anfänglich horizontal waren, gekrümmt nach B kommen, ſo werden alle übrigen von E ausgehenden Strahlen über B weg gebrochen, und dieß iſt ebenſo mit allen zwiſchen E und G vom Boden ausgehenden Strahlen der Fall. Bringt der Beobachter in B ſein Auge höher hinauf, ſo erweitert ſich ſein Geſichtskreis über E hinaus, dagegen kommen dann die von hohen Gegenſtänden bei Aa ausgegangenen Lichtſtrahlen nicht mehr in der Richtung wie EB in das Auge; ſenkt man das Auge wieder herab, ſo ſcheint das umgekehrte Bild von Aa die Gegenſtände, die bei E und jenſeits E ſichtbar waren, zu verbergen, und man iſt geneigt, es einem auf der Erde ruhenden Dunſte zuzuſchreiben, daß die nahen und niedrigen Gegenſtände bei E nicht geſehen werden, während die höhern Theile der entfernten Gegenſtände ſich aufrecht und umgekehrt zugleich zeigen. Wenn dieſe Erſcheinungen der Luftſpiegelung (denn ſo hat man ſie oft genannt) recht ſtark ſind, ſo ſieht man nicht bloß die irdiſchen Gegenſtände, ſondern auch den hellen Himmel über ihnen in dieſem Bilde, und es nimmt ſich daher das ganze Phänomen ſo aus, als ob zwiſchen jenen entfernten Gegenſtänden und dem Beobachter Waſſer wäre, in welchem die Gegenſtände ſich abſpiegelten. Dieſe Erſcheinung iſt am lebhafteſten, wenn man ſich tief zur Erde herabbückt, und verſchwindet oft ſchon, wenn man ſich aufrichtet, und noch mehr, wenn man auf einem höhern Punkte ſeine Stellung nimmt. In heißen Tagen, wenn die Erde recht erhitzt iſt, zeigt ſich die Erſcheinung ſelbſt auf nicht ſehr ausgedehnten Ebnen, und noch vollkommner ſoll ſie ſich in den brennend heißen Ebnen Africa's zeigen, wo die Täuſchung (der unter andern die franzöſiſche Armee in Aegypten häufig ausgeſetzt war), daß man Waſſer vor ſich zu ſehen glaubt und es immer vor ſich verſchwinden ſieht, wenn man weiter fortgeht, doppelt empfindlich iſt, je mehr die Hitze die Sehnſucht nach der Erfriſchung des Waſſers befördert. — Bei einiger Aufmerkſamkeit hat man an heißen

Tagen ziemlich oft Gelegenheit, in ebnen Gegenden dieſe Erſcheinung, als ob die Gegenſtände in der Luft ſchweben, zu ſehen; aber man muß ſich faſt allemal des Fernrohrs bedienen, um zu erkennen, daß alle Gegenſtände ihr geſpiegeltes Bild unter ſich haben, was man mit Hülfe des Fernrohrs leicht wahrzunehmen pflegt.

Seltener als dieſe Erſcheinung iſt eine ähnliche ſcheinbare Abſpiegelung oberwärts. Sie iſt nur dann vorhanden, wenn die Strahlenbrechung ſehr ſtark, die Erhebung der Gegenſtände groß iſt, und ſich daher diejenigen Phänomene zeigen, die ich zuerſt erwähnt habe. In dieſen Fällen muß es wohl zuweilen ſtatt finden, daß in bedeutender Höhe ſo warme Luftſchichten vorhanden ſind, daß durch ihre Wirkung von oben her genau eben das eintritt, was ich eben als von unten her entſtehend beſchrieben habe; man ſieht nämlich umgekehrte Bilder ſich an den oberen Theil der Gegenſtände anfügen, ja wohl gar noch ein drittes aufrechtes Bild über dem umgekehrten. Die Erſcheinung iſt nur ſelten mit vollkommener Deutlichkeit beobachtet worden, und immer nur auf dem Meere oder bei der Ausſicht über Waſſer. Sie fand ſtatt bei ſchwüler oder wenigſtens für die Gegend ungewöhnlich warmer Witterung, meiſtens vor Gewittern. Man ſah dann höchſt entfernte Gegenſtände oberhalb des Meerhorizontes, und in einigen Gegenden erſchienen die Schiffe ſo, daß über ihren Maſten ein umgekehrtes Schiff und über dieſem wieder ein aufrechtes Schiff geſehen wurde. In den nordiſchen Meeren iſt nach Scoresby's Erzählung dieſe Erſcheinung nicht ganz ſelten, und da hier die Luft nahe am Meere immer durch das die Oberfläche zum großen Theil bedeckende Eis kalt erhalten wird, während ſie oben vielleicht erheblich erwärmt ſeyn mag, ſo läßt ſich der Urſprung der Erſcheinung in jenen Gegenden wohl einſehen. [1] Da aber ſelten dieſe drei Bilder rein und kenntlich hervortreten, ſo entſtehen daraus auffallende Verzerrungen, die der ganzen Reihe von Gegenſtänden, einer ganzen Küſte zum Beiſpiel, ein durchaus fremdartiges Anſehen geben. Ein ziemlich unbedeutender Eisberg oder weißer Hügel kann ſich hier zu einer hohen Cryſtallſäule oder einem hohen weißen Schloſſe umzugeſtalten ſcheinen und der Phantaſie Raum zu mancherlei Vorſtellungen von zauberiſch verwandelten Gegenſtänden geben, zumal da kleine Aenderungen in dem Zuſtande der Luft Wechſel in die Erſcheinung bringen, die einem Wechſel zauberiſcher Verwandelungen gar wohl zu entſprechen ſcheinen.

Auf dieſe Weiſe entſteht ohne Zweifel die berühmte Erſcheinung der Fata Morgana (d. h. Schlöſſer der Fee Morgana) an der Meerenge von Meſſina, an den Küſten Calabriens, vorzüglich zu Reggio, wo ſich nach der Beſchreibung oft Gegenſtände zeigen, welche ſchönen Säulenreihen, prachtvollen Schlöſſern u. ſ. w. gleichen, aber nach einiger Zeit in ihr Nichts zurückſchwinden. Aller Wahrſcheinlichkeit nach iſt auch dieſe oft mit übertriebenen Farben geſchilderte Erſcheinung nichts weiter als eine Luftſpiegelung aufwärts, wodurch

[1] Vgl. Scoresby's Reiſe zum Wallfiſchfange 1822. Meine Beobachtungen über die Strahlenbrechung (Oldenb. 1807) und meine Unterhaltungen für Freunde der Phyſik und Aſtronomie, 2. Hft., ſtellen Beiſpiele von dieſen Erſcheinungen in Abbildungen dar.

die an der gegenüberliegenden Küſte gelegene Stadt Meſſina nebſt ihrer Umgegend auf einige Zeit ſichtbar wird.

Zittern der Gegenſtände. Funkeln der Sterne.

Ehe ich dieſen Gegenſtand ganz verlaſſe, muß ich noch eine Erſcheinung erwähnen, die ſich mit den ungewöhnlichen Refractionen und Luftſpiegelungen gewöhnlich zu vereinigen pflegt, die aber auch ſonſt oft beobachtet wird. Wenn Gegenſtände ſehr erhitzt ſind, ſo erſcheinen theils ſie ſelbſt, theils die ihnen nahen Gegenſtände zitternd, und dieſes Zittern, welches wir, über glühende Kohlen oder über einen heißen Ofen hin ſehend, oft bemerken, hängt offenbar von Luftſtrömungen ab. Die erhitzte Luft ſteigt in der kälteren Luft in die Höhe und es bilden ſich dabei Ströme hinaufgehender warmer Luft und Ströme herabgehender kalter Luft neben einander; indem nun ein Lichtſtrahl im einen Augenblick in der dünneren, warmen Luft etwas anders als gleich nachher in der dichteren kalten Luft gebrochen wird, ſo verändert er von einem Augenblick zum andern ſeine Richtung, und der Punkt, von welchem er ausging, ſcheint uns zu zittern. Viel Regelmäßiges läßt ſich in dieſen wechſelnden Strömen ungleicher Luftmaſſen nicht wahrnehmen, doch bemerkt man zuweilen, daß ein wellenförmiges Fortziehen nach der Richtung des Windes kenntlich iſt, und dieß beſonders da, wo eine erhitzte horizontale Oberfläche beobachtet werden kann, die unter dieſen Umſtänden nicht grade, ſondern wellenförmig gekrümmt und ſich wie Wellen fortbewegend erſcheint.

Hiemit hängt das Funkeln der Sterne zuſammen. Wenn die Luft entweder aus wärmeren und kälteren Maſſen oder wenn ſie mit Dünſten gemiſcht iſt, ſo gelangen auch von den Sternen die Lichtſtrahlen ungleich gebrochen zum Auge, und die Sterne ſcheinen uns zu zittern. Dieſes Funkeln bemerken wir ſtärker an den Fixſternen, weniger an den Planeten, weil der ſcheinbare Durchmeſſer der Fixſterne ſo höchſt gering iſt. Wenn zum Beiſpiel jene Zitterung 10 Secunden betrüge, ſo würde Sirius, der noch lange keine Secunde im Durchmeſſer hat, um etwas ſehr bedeutendes hin und her wanken; beim Jupiter dagegen, deſſen ſcheinbarer Durchmeſſer 40 Secunden beträgt, würde dieſe anſcheinende Verrückung nur wenig in Vergleichung gegen ſeinen ganzen Durchmeſſer betragen. Am Horizonte ſcheinen die Sterne, beſonders im Fernrohr geſehen, ſtärker zu zittern, oft ſo ſehr, daß gar keine genaue Beobachtung mehr möglich iſt. Dieſes Zittern wird oft bedeutend dadurch verſtärkt, daß man das Inſtrument zum Beobachten innerhalb eines offenen Fenſters ſtehen hat, in welchem die hinausziehende warme Luft ſich mit der äußeren kalten miſcht. Uebrigens beſteht das Funkeln der Sterne nicht allein in einem Zittern, ſondern es iſt damit eine Aenderung des Glanzes oder der Lichtſtärke und zuweilen ſogar ein Wechſel der Farbe verbunden. Welchen Zuſammenhang dieſes Funkeln mit der Witterung habe, darüber wage ich nicht etwas zu beſtimmen. Es iſt oft ſehr lebhaft bei großer Kälte und heiterem Himmel, oft auch bei feuchter Luft, und da es von

ungleicher Erwärmung abhängen kann, ſo iſt es wohl möglich, daß zuweilen ſelbſt örtliche Umſtände darauf einwirken können. In Portugal gilt es als Vorbote von Stürmen, in den heißen Gegenden von America ſoll es die Nähe der tropiſchen Gewitter anzeigen.

Das Blau des Himmels und die Morgen- und Abendröthe.

Die Betrachtungen über die ungleiche Färbung durchgelaſſener und zurückgeworfener Strahlen, welche wir in der letzten Vorleſung anſtellten, enthalten, wie es mir ſcheint, einen ziemlich vollkommenen Aufſchluß über die Urſache, warum der Himmel blau, die Abendröthe orangefarben erſcheint. Unſre Atmoſphäre iſt aus Luft und Waſſerdämpfen in ſehr ungleichem und wechſelndem Verhältniſſe gemiſcht, und die Eigenſchaften beider Miſchungstheile in Beziehung auf das Licht müſſen wir näher unterſuchen. Wenn die Dünſte ſich ſo ſichtbar niedergeſchlagen haben, daß ſie ſich dem Auge als Nebel oder als Wolken zeigen, ſo bemerken wir nicht, daß irgend eine Art von Farbenſtrahlen mehr als die andre durchgelaſſen oder mehr als die andre zurückgeworfen werde; eine Nebelmaſſe ſieht weiß aus, wenn die Sonne darauf ſcheint, und die von der Sonne ſtark erhellten Wolken erſcheinen mit ſchönem weißen Glanze, dagegen ſehen die Wolken grau aus, wo ſie von ſchwächerem Lichte getroffen werden, und die grauen Schattirungen der an einer Seite von der Sonne beleuchteten, bergig aufgethürmten Wolken zeigen uns ihre beſchatteten Theile abſtechend gegen die von der Sonne erleuchteten. Aber auch die durchgelaſſenen Strahlen ſind rein weiß, indem bekanntlich die durch einen dicken Herbſtnebel blickende Sonne völlig ſilberweiß erſcheint. Ebenſo zeigen ſich uns die leichten Wolken ſilberweiß, wenn die Sonne ſie erleuchtet, und auch die von ihnen bedeckte Sonne zeigt ſich nicht farbig. — Anders iſt es mit dem Rauche, der von der Sonne beſchienen blau erſcheint und uns die Sonne roth zeigt, wenn wir ſie durch den Rauch ſehen; der Rauch läßt demnach die gelben und rothen Strahlen durch und reflectirt die blauen. Ebenſo hat nach *Forbes'* Beobachtungen der Waſſerdampf bei einer gewiſſen Stufe der Verdichtung die Fähigkeit, hauptſächlich rothe Strahlen durchzulaſſen.

Die reine Luft ſcheint die Eigenſchaft zu haben, daß ſie die mehr brechbaren Strahlen, die zuſammen Blau darſtellen, beſſer zurückwirft, die weniger brechbaren aber, die in ihrer Miſchung Orange geben, vorzugsweiſe durchläßt. Dieſe Eigenſchaft erklärt das Blau des Himmels und das Roth der Morgen- und Abendröthe. Wenn die Luft mit Dünſten, die ſich ſchon niederſchlagen, gefüllt iſt, ſo iſt der Himmel weißlich, weil von dieſen Dünſten weiße Lichtſtrahlen zurückgeworfen werden, die ſich mit dem Blau der in der Luft, gleichſam an jedem Lufttheilchen reflectirten Strahlen miſchen; zu ſolchen Zeiten iſt auch die Abendröthe weißlich, hellgelb, weil die durchgelaſſenen Strahlen zwar zum Theil ihres Blau beraubt ſind, aber die Erfüllung mit Dünſten kein ſehr ungleiches Verhältniß der Farben in den durchgelaſſenen Strahlen zuläßt; die Sonne geht dann nicht roth, ſondern weißlich gelb unter. Bei recht dunſtfreier

Luft dagegen iſt der Himmel dunkelblau, weil die Luft überhaupt nicht ſehr viele Strahlen zurückwirft, und zwar faſt nur blaue und violette Strahlen; auf hohen Bergen iſt dieſes Blau immer dunkler, offenbar weil die Luft dort zu dünn iſt, um noch viel Licht zu reflectiren, und man kann alſo mit Recht ſchließen, daß nur die Luft die Urſache dieſes zurückgeworfenen Lichtes iſt, daß alſo in noch viel größern Höhen der Himmel ganz ſchwarz, von gar keinem Lichte erhellt oder keines zurückſtrahlend, erſcheinen müßte. Zur Beſtimmung der verſchiedenen Grade der Färbung des Himmels oder der verſchiedenen Abſtufungen des Blau dient ein von Sauſſure erfundenes Inſtrument, Cyanometer genannt, welches die Uebergänge von Weiß durch Blau zum vollkommenen Schwarz in 51 verſchiedenen Nuancen enthält, mit gutem Berlinerblau auf Papier gemalt, das auf die Peripherie eines Kreiſes geklebt iſt. Hiermit ſtimmt im Weſentlichen auch das von Humboldt verfertigte Cyanometer überein, während Parrot zu Beſtimmung der Nuancen die Anwendung der ſogenannten Farbenſcheibe vorgeſchlagen hat.

Daß am Tage, bei hohem Stande der Sonne dieſe uns weiß erſcheint, obgleich die Strahlen bei ihrem Durchgange durch die Atmoſphäre etwas blaues Licht verloren haben, iſt wohl nicht auffallend, da doch immer ein gegen das geſammte Sonnenlicht nur ſehr kleiner Antheil blauen Lichtes verloren gegangen iſt, alſo auch nur ein wenig merklicher Ueberfluß gelben Lichtes vorhanden ſeyn kann. Am Abend aber, beim Untergang der Sonne, und am Morgen, beim Aufgang der Sonne, geht der Strahl ſo weit durch dichtere Luftſchichten fort, daß er einen bei der ſtarken Schwächung des Lichtes ſehr merklichen Ueberſchuß an gelben und rothen Strahlen enthalten muß; daher erſcheint uns dann die Sonne roth und auch die doch nie fehlenden Dünſte zeigen ſich roth oder orangefarben erleuchtet. Stehen Wolken am Horizonte, ſo ſind einige weißgelblich, andre orangefarben, andre dunkelroth glänzend; die erſteren ſind die am höchſten ſtehenden, die, wenn die Sonne tiefer unter den Horizont hinab ſinkt, ſich ebenfalls röthen, die aber, ſo lange ſie die Strahlen noch nicht durch die tiefſten Luftſchichten erhalten, noch von minder rothen Strahlen erleuchtet werden. Zuweilen ſtehen mitten zwiſchen den glänzenden Wolken dunkle, blaue Wolken; von dieſen kann man wohl immer annehmen, daß ſie im Schatten von andern Wolken, zuweilen von ſolchen, die unter unſerm Horizonte ſind, ſtehen, und bei genauer Aufmerkſamkeit ſieht man in manchen Fällen, daß dieſer Schatten bei tieferem Sinken der Sonne auf andre Wolken übergeht. Das dunkle Blau dieſer Wolken muß daher rühren, daß ſie das wenige Licht, welches ſie zurückſenden, nur dem Blau des Himmels verdanken, indem keine directe Sonnenſtrahlen auf ſie fallen. Sind am Horizonte Wolken, die dick genug ſind, daß ihr eigner Schatten die Erleuchtung an der uns zugekehrten Seite hindert, ſo ſehen wir ſie dunkel mit rothem, purpurfarbenem Rande. Sehen wir die Berge im Glanze des Abendrothes, ſo erſcheinen ſie entweder völlig roth, wenn ſie uns ſonſt weiß erſchienen wären, oder violettlich, wenn ihr natürliches Blau ſich mit dem Roth der Abendröthe miſcht; blau nämlich

würden ſie erſcheinen, weil an der der Sonne gegenüber oder ſeitwärts liegenden Seite doch immer noch die zwiſchen dem Auge und dem Berge liegende Luft unter den von allen Seiten, vom blauen Himmel her, ſie treffenden Strahlen die blauen am beſten zurückwirft und daher der roth erleuchtete Berg gleichſam hinter einem blauen Schleier liegt.

Ich will nicht grade die Behauptung wagen, daß in dieſen Betrachtungen eine für jeden einzelnen Fall und für jede einzelne Erſcheinung der Morgen- und Abendröthe genügende Erklärung liegt; aber ich glaube doch gewiß zu ſeyn, daß man im Weſentlichen dieſe Erklärungen bei genauer Aufmerkſamkeit auf die Erſcheinungen ſehr genügend finden wird.

Die Dämmerung.

Auch die Erſcheinungen der Dämmerung laſſen ſich ganz nach dieſen Grundſätzen erklären. Wenn an einem heitern Abend die Sonne untergegangen iſt, ſo zeigt ſich bald am öſtlichen Horizonte ein dunkelblauer bogenförmig begrenzter Raum, über welchem ſich der Himmel etwas röthlich, höher hinauf weiß, endlich gegen das Zenith blau zeigt. Jener dunkle Kreisabſchnitt entſteht durch den Schatten, welchen die Erde auf die Atmoſphäre wirft; weil keine Sonnenſtrahlen mehr auf dieſe Gegend der Luft gelangen, ſo zeigen ſich die Dünſte und die Luft ſelbſt ſehr ſchwach erleuchtet, und zwar blau erleuchtet, weil auch der lebhaftere Theil der Abendröthe in jener Gegend der Atmoſphäre ſchon untergegangen iſt, alſo das Blau der in höhern Luftgegenden zurückgeworfenen Strahlen dort noch am meiſten zu der ſchwachen Erleuchtung beiträgt. Der röthliche Bogen über dem Dunkel bezeichnet die Gegend, wo das lebhafte Abendroth noch genug in der unteren Luft befindliche Dünſte trifft, um ſie durch rothe Erleuchtung kenntlich zu machen; das Weiß, welches dieſen Bogen umgiebt, gehört einer Gegend an, wo das von der reineren oberen Luft reflectirte Blau der Sonnenſtrahlen ſelbſt ſich mit dem von den Dünſten zurückgeworfenen Roth der Abendrötheſtrahlen vermiſcht und ſo dem Auge ein aus allen Farbenſtrahlen gemiſchtes Weiß darſtellt; am Zenith endlich iſt der Himmel blau, weil unſre Geſichtslinie in dieſer Richtung durch zu wenige rothgefärbte Dünſte geht, um uns durch ihre reflectirten Strahlen eine das Blau ganz aufhebende weiße Miſchung zu zeigen. Ungefähr ebenſo verhält es ſich am weſtlichen Himmel, wo ebenfalls das Orange der Abendröthe einige Zeit nach Sonnenuntergang einen Uebergang durch Weiß zum Blau, das am Zenith ſich noch zeigt, darſtellt. Die Dünſte nämlich, die ſich in der nach dieſem Weiß hin gezogenen Geſichtslinie befinden, geben die rothen Strahlen theils der Sonne ſelbſt, theils der Abendröthe zurück, und die höheren reineren Luftſchichten würden für ſich allein Blau erſcheinen; ſie gewähren uns daher ebenfalls eine Miſchung aller Farben, und darum iſt der Uebergang vom Orange zum Blau hier gewöhnlich ein ziemlich reines Weiß.

Siebenunddreißigſte Vorleſung.

Der Regenbogen.

Den Regenbogen brauche ich gewiß nur zu nennen, um in Ihnen den Wunſch, die Entſtehung dieſer ſchönen Naturerſcheinung genau kennen zu lernen, zu erwecken, und die bisherigen Betrachtungen haben uns dazu den Weg vollkommen gebahnt. Daß er von Brechung der Lichtſtrahlen abhängt und daß die ungleiche Brechung der Lichtſtrahlen ſeine Farben hervorbringt, das läßt ſich einigermaßen vermuthen, und daß Regentropfen erforderlich ſind, um ihn hervorzubringen, iſt aus der Erfahrung wohl bekannt, indem er nur entſteht, wenn da, wo es regnet, zugleich die Sonne ſcheint.

Indem die Sonne auf die herabfallenden Regentropfen ſcheint, werden ohne Zweifel die allermeiſten Strahlen von dieſen kleinen Waſſermaſſen durchgelaſſen, und wir ſehen daher die Sonne auch durch den herabfallenden Regen; aber einige Sonnenſtrahlen werden von den Tropfen zurückgeworfen, welches uns ſchon in der ſehr merklichen Schwächung des durchgelaſſenen Sonnenlichtes kenntlich wird und ja auch mit andern Erfahrungen an durchſichtigen Körpern übereinſtimmt. Dieſe Zurückwerfung findet hier, wie faſt bei allen durchſichtigen Körpern, theils an der Vorderfläche, theils an der Hinterfläche ſtatt; aber daß ſich uns in einer beſtimmten Entfernung von der Sonne eine ſo lebhafte Erleuchtung zeigen muß, wie ſie ſich uns im Regenbogen darbietet, das iſt es, was wir näher nachzuweiſen ſuchen müſſen.

Entſtehung des Hauptregenbogens.

Wenn AB (VIII. Fig. 27) einen kugelförmigen Regentropfen vorſtellt, auf welchen Sonnenſtrahlen nach der Richtung SA, sD fallen, ſo iſt es offenbar, daß der bei A einfallende Strahl, weil er grade gegen den Mittelpunkt gerichtet iſt, ungebrochen bis B dringt und dort theils ungebrochen hervordringt, theils in ſich ſelbſt zurückgeworfen wieder nach A und S gelangt. Ein bei D einfallender Strahl wird die hintere Seite des Tropfens in E ſo erreichen, daß EB kleiner als AD iſt, und der zurückgeworfene Theil des Strahles wird, nach EF zurückgeworfen und bei F gebrochen, nach t gelangen, jedoch wird ſo nur ein geringer Theil des einfallenden Lichtes nach t gelangen, alſo ein dort ſich befindendes Auge auch nur einen ſchwachen Lichteindruck erhalten können. Dieſe Bemerkung, die mit dem Entſtehen eines ſo ſchönen und glänzenden Phänomens wie der Regenbogen im Widerſpruch zu ſtehen ſcheint, iſt gewiß richtig in Beziehung auf das von A bis D einfallende Licht, welches, wie die divergirenden Richtungen der Linien AS, yy, Ft zeigen, zerſtreut wird und alſo nur ungefähr ſo wie bei andern zerſtreut zurückgeworfenen Strahlen dem Auge eine mäßige, hier ſogar ziemlich matte Erleuchtung, nämlich nur das Grau eines der Sonne gegenüber ſtehenden Regenſchauers, zeigt. Aber wenn man ſorgfältig die 10 Grad, 20 Grad,

30 Grad von A einfallenden Strahlen zeichnet, ſo ſieht man bald, daß die Bogen bei B, welche dieſe Strahlen oberhalb B abſchneiden, ungleich ſind und immer kleiner werdend endlich gar kein Höherrücken des Punktes E mehr ergeben, ſo daß ungefähr die bei 60 Grad einfallenden Strahlen den Punkt E am höchſten geben und die noch höher, z. B. bei 70 Grad einfallenden Strahlen wieder näher bei B einſchneiden. Man findet nämlich für **AD** = 10 Grad, **BE** = 5 Grad; für **AD** = 20°, **BE** = $9\frac{3}{4}$°; für **AD** = 30°, **BE** = 14°; für **AD** = 40°, **BE** = $17\frac{2}{3}$°; für **AD** = 50°, **BE** = $20\frac{1}{8}$°; für **AD** = 60°, **BE** = 21°; für **AD** = 70°, **BE** = $19\frac{3}{5}$°; für **AD** = 80°, **BE** = $15\frac{1}{5}$°; für **AD** = 90°, **BE** = $7\frac{1}{6}$°. Dieſer merkwürdige Umſtand, daß für die zwiſchen 50° und 60° einfallenden Strahlen **uv** und **wx** die gebrochenen Strahlen am höchſten und beinahe in einen Punkt fallen, hat eine Wirkung in Hinſicht auf das reflectirte Licht, woraus die Entſtehung des Regenbogens ſich ſehr beſtimmt erklärt. Wenn wir uns ſtatt des Regentropfens eine Glaskugel mit völlig gleicher lichtbrechender Kraft denken, die wir den Sonnenſtrahlen ſo ausſetzen, daß immer nur 10 Grade in der Gegend von D, v, x unbedeckt ſind, während alle übrigen Punkte gegen das auffallende Sonnenlicht beſchützt werden, ſo würde das von A bis 10° auffallende Licht ſich reflectirt in den Raum Sh, das zwiſchen 10 und 20° einfallende Licht in den Raum hy ausbreiten; das von 50° bis 60° auffallende Licht zerſtreut ſich dagegen gar nicht, ſondern bleibt, faſt genau parallel ausfallend, ſo vereinigt, wie es einfiel. Ein in y ſtehendes und nach der beleuchteten Hinterſeite der Kugel ſehendes Auge würde nur die wenigen zurückgeworfenen Strahlen empfangen, die auf den Bogen von einigen Minuten einfallen; ein bei zz ſtehendes Auge dagegen empfängt alle Strahlen, die von einem Bogen von mehreren Graden zurückgeworfen werden, und ein von y nach t, nach zz fortgehendes Auge muß daher in zz, nach der Richtung zp blickend, einen viel erheblicheren Glanz bemerken, als in jeder anderen Stellung. Und dieſe Richtung zp iſt es eben, in welcher wir die helle Erſcheinung des Regenbogens ſehen, der 42 Grade von dem der Sonne gegenüberliegenden Punkte, 42 Grade von dem Punkte, wohin der Schatten meines Kopfes fällt, erſcheint. Daß übrigens das, was hier von *einem* Tropfen gezeigt worden iſt, der 42 Grad von jenem Punkte entfernt liegt, auch für alle ebenſo entfernt rund um jenen Punkt liegenden Tropfen gilt, iſt offenbar, es muß ſich uns daher ein heller Kreis von 42 Grad Halbmeſſer zeigen. Der Regenbogen iſt eben dieſer helle Kreis, ſein höchſter Punkt ſteht 42 Grade über dem Horizonte, wenn der Regenbogen ſich beim Aufgange oder Untergange der Sonne zeigt; ſteigt die Sonne höher, ſo rückt der Schatten meines Kopfes, der Mittelpunkt des Regenbogens, unter den Horizont hinab und der Bogen ſelbſt erſcheint niedriger; bei 40 Grad Sonnenhöhe ſieht man den Regenbogen nur noch ganz nahe am Horizonte und bei noch höherem Stande der Sonne gar nicht mehr.

Hiebei läßt ſich noch eine Bemerkung machen, die man bei aufmerkſamer Beobachtung beſtätigt findet. Wenn ein Auge in S das an der Hinterſeite

des Tropfens geſpiegelte Sonnenbild ſehen will, ſo muß es ſich grade nach A, das iſt nach dem der Sonne entgegengeſetzten Punkte, richten; ein Auge in y muß nach der Richtung y y blicken, ein Auge in t nach t F, und jede dieſer Richtungen iſt etwas weiter von der der Sonne entgegengeſetzten Richtung entfernt, bis man nach z kömmt; hier aber iſt der Winkel p z q zwiſchen der Richtung p z, nach welcher jener reflectirte Strahl ins Auge kömmt, und der Richtung z q, die den der Sonne entgegengeſetzten Punkt bezeichnet, größer als irgendwo; ein Auge jenſeits z erhält aus dieſem Tropfen gar keinen reflectirten Strahl mehr, weil z. B. die bei 80° eingefallenen Strahlen nach der Zurückwerfung in der Richtung n r hervordringen. Dieſe Ueberzeugung, die ſich an die genaue Betrachtung der Zeichnung unmittelbar anſchließt, zeigt, daß ein in z ſtehendes Auge dieſe reflectirten Strahlen aus dem hier gezeichneten Tropfen in dem reichlichſten Maaße erhält, weil es den ſich nicht zerſtreuenden Strahlen ausgeſetzt iſt; richtet das Auge in z ſeinen Blick nach einer mit t F parallelen Richtung, die weniger als z p von z q abweicht, ſo erhält es aus einem etwas niedrigeren Tropfen den auf 40 Grad eingefallenen Lichtſtrahl, dann aus noch niedrigern Tropfen die bei 20 Grad eingefallenen Strahlen, und ſo weiter; blickt es aber in einer mehr als z p von z q abweichenden Richtung, ſo erhält es durchaus gar keine ſolche Strahlen, die von der Hinterſeite des Tropfens zurückgeworfen werden. In der That bemerkt man, daß die unmittelbar über dem Regenbogen liegende Gegend des Himmels dunkler als die innerhalb des Regenbogens enthaltene iſt; man bemerkt dieß recht deutlich dann, wenn bei Sonnenuntergang ein Regenbogen erſcheint und die roth ſcheinende Sonne den ganzen öſtlichen Himmel innerhalb des Regenbogens mit einem röthlichen Grau färbt, indem dann der oberhalb des Bogens liegende Theil der Wolken- oder der Regenwand von dieſer röthlichen Färbung faſt gar nichts darbietet, deswegen nämlich, weil ſich innerhalb des Regenbogens mit dem überall von den Wolken und vom Regen zurückgeworfenen Lichte auch noch einige von der Hinterſeite der Tropfen reflectirte Strahlen verbinden, die oberhalb des Regenbogens gänzlich fehlen.

Die bisherigen Betrachtungen reden nur von einem hellen, nicht von einem farbigen Bogen; aber Sie überſehen leicht, daß die ungleiche Brechung der verſchiedenfarbigen Strahlen ſich auch hier zeigen wird. Wäre die Brechung ſtärker, ſo würde offenbar der Strahl s D einen niedrigern Punkt als E, näher nämlich an B liegend, erreichen, eben darum aber auch bei der Zurückwerfung nicht in F, ſondern zwiſchen F und y ankommen und alſo in einer weniger gegen S B oder gegen z q geneigten Richtung ins Auge kommen; und da eben das für die wirkſamen Strahlen p z ſtatt findet, ſo würde das Auge z den Regenbogen näher bei q ſehen oder der Regenbogen würde einen kleinern Halbmeſſer haben, wenn die Strahlen ſtärker gebrochen würden. In dem Falle, der ſich ſo oft unſrer Beobachtung darbietet, müſſen alſo die ſtärker gebrochenen violetten Farbenſtrahlen den innern Rand des Bogens, die minder gebrochenen rothen Farbenſtrahlen den äußern Rand darſtellen, ſo wie es

wirklich bei dem Hauptregenbogen der Fall iſt. Nimmt man bei Waſſer und Luft mit Fraunhofer das Brechungsverhältniß für rothe Strahlen, die dem Ende des Farbenbildes nahe liegen, wie 1 zu 1,331, für violette Strahlen wie 1 zu 1,344, ſo iſt des rothen Bogens Halbmeſſer oder Abſtand vom Schatten des Kopfes des Beobachters 42° 22′, der des violetten Bogens dagegen 40° 28′. Die mittleren Farben liegen in ihrer gewöhnlichen Ordnung zwiſchen beiden. Da die Sonne kein einzelner Punkt, ſondern eine ziemlich große Scheibe iſt, ſo ſind die Farben nicht ganz rein. Verſtehe ich unter dem Mittelpunkte des Bogens den Punkt, der genau dem Mittelpunkte der Sonne gegenüberſteht, ſo fällt der vom obern Sonnenrande entſtehende rothe Bogen 16 Min. tiefer als der vom Sonnenmittelpunkte entſtehende, jener miſcht ſich daher mit dem gelben Bogen des von der untern Hälfte der Sonne hervorgebrachten Bogens und die Farben ſind deshalb minder rein, als ſie bei geringerem Durchmeſſer der Sonne ſeyn würden.

Entſtehung des zweiten, ſchwächeren Regenbogens.

Dieſe Betrachtungen betrafen den Hauptregenbogen; der Nebenregenbogen, der ſich gewöhnlich auch zeigt, aber allemal viel ſchwächer iſt und oberhalb des Hauptbogens liegt, entſteht durch zweimalige Zurückwerfung der Lichtſtrahlen innerhalb des Tropfens. Es iſt nämlich gewiß, daß beim Eindringen des Lichtſtrahls in D (Fig. 27), beim Antreffen an die Hinterfläche in E und endlich auch beim zweiten Antreffen an die Oberfläche des Tropfens in F ein Theil des Lichtes reflectirt wird, daß alſo auch in F nicht der ganze bei E zurückgeworfene Strahl hervordringt, ſondern ein, wenn gleich gegen das Ganze geringer, Theil eine abermalige Reflexion leidet. Bei dieſer zweiten Zurückwerfung giebt es nun einen eben ſolchen Fall, wie bei der einmaligen Reflexion; es tritt nämlich zwar in den meiſten Fällen eine Zerſtreuung der Lichtſtrahlen ein, aber für gewiſſe Tropfen findet dieſe Zerſtreuung nicht ſtatt, ſondern ein Auge in O (Fig. 28) erhält alles Licht vereinigt, unzerſtreut zurück, das aus dem auf einen ſehr erheblichen Bogen bei L aufgefallenen Lichte durch die Reflexion in dieſe Richtung gebracht iſt. Es wird nicht nöthig ſeyn, hier abermals eine ganze Folge auffallender Strahlen zu zeichnen, ſondern es iſt hinreichend zu bemerken, daß, wenn BA (Fig. 28) den gegen die Sonne gerichteten Durchmeſſer des Tropfens bezeichnet und man AL = 71½ Grad nimmt, der richtig gezeichnete gebrochene Strahl LM, der nach MN, NP reflectirt wird und in PO gegen das Auge O zugeht, derjenige iſt, deſſen nächſt benachbarte mit ihm parallel hervorgehen. Daß dieſe Strahlen alſo wieder wirkſame Strahlen heißen müſſen, in Vergleichung gegen die, welche ſich zerſtreuen und deshalb gar keinen erheblichen Eindruck auf das Auge machen, und daß das Auge O in der Richtung OP den Glanz der zweimal reflectirten Strahlen ſo gut, als die Schwäche dieſer Strahlen es verſtattet, ſehen muß, iſt ganz offenbar. Die Rechnung giebt den Winkel POQ oder den Abſtand dieſes hellen Kreiſes vom Schatten des Kopfes gleich 50½ Grad

für die rothen, gleich 53¾ Grad für die violetten Strahlen. Dieſer zweite Regenbogen, der der Natur der Sache nach immer nur matt ſeyn kann, liegt alſo höher als der Hauptbogen, umgiebt dieſen und hat das Roth an der innern, das Violett an der äußern Seite, weil bei ſtärkerer Brechung der Winkel POQ größer wird. In der Fig. 29 iſt dargeſtellt, wie beide Arten von Strahlen zum Auge O gelangen, indem die bei P liegenden Tropfen den lebhaftern, die bei Q liegenden den ſchwächern Regenbogen darſtellen.

Um die Bedenklichkeit zu beſeitigen, ob denn dieſe im Innern des Tropfens reflectirten Strahlen ein ſo glänzendes Phänomen, wie der Regenbogen iſt, hervorbringen können, muß ich noch eine Bemerkung beifügen. Ich habe immer nur von einem Tropfen, der uns dieſe Erſcheinung darbiete, geſprochen; es läßt ſich aber leicht überſehen, daß alle in der ganzen Linie OP (Fig. 29) liegenden Tropfen eben ſo geeignet ſind, die wirkſamen Strahlen dem Auge O zuzuſenden, und daß alſo jeder der vielen tauſend Tropfen, die eben im Fallen durch die Linie OP gehen, zur Vermehrung des Lichtes des Regenbogens beiträgt. Aus dieſem Grunde iſt der Regenbogen matt, wenn der Regen ſchwach iſt, lebhaft hingegen, wenn die Zahl der Tropfen groß iſt.

Auch der Mond bietet zuweilen die Erſcheinung des Regenbogens dar, doch unterſcheidet man in dem matten Lichte des Mondregenbogens nicht immer die Farben.

Andre Erſcheinungen bei dem Regenbogen.

Ein Umſtand iſt bei dem Regenbogen noch nicht ganz erklärt, nämlich der, daß am Hauptregenbogen ſich nicht ſelten an der innern Seite eine Wiederholung des Grün und Violett zeigt, ſo daß an den violetten Bogen, den unſre Theorie angiebt, ſich noch ein ſchmaler grüner, dann ein violetter, wieder ein grüner und noch ein violetter Bogen anſchließt. Es iſt ungewiß, ob dieß von der nicht genau kugelförmigen Geſtalt der Tropfen kommen kann, oder ob es mit den ſpäter zu beſchreibenden Erſcheinungen der Beugung des Lichtes in Verbindung ſteht. Dieſe Farbenwiederholung iſt gewöhnlich nur an dem höchſten Theile des innern Bogens kenntlich und verliert ſich da, wo der Bogen gegen den Horizont herabgeht.

Leichter zu erklären iſt dagegen die zuweilen beobachtete Erſcheinung von vier Regenbogen, die ſich durchſchneiden. Sie kommen, ſo viel mir bekannt iſt, nur da vor, wo man ein hinreichend großes ſtilles Waſſer hinter ſich hat, indem man nach dem Regenbogen ſieht. In dieſem Falle haben nämlich die aus dem Waſſer auf die Regentropfen zurückgeworfenen Strahlen eben die Wirkung, als ob noch eine zweite Sonne unterhalb des Horizontes ſtände, und es erſcheint ein farbiger Kreis, deſſen Mittelpunkt da liegt, wo die von der abgeſpiegelten Sonne durch den Kopf des Beobachters gezogene Linie hinweiſt. Auch hier ſieht man, wenn das aus dem Waſſer zurückgeworfene Licht lebhaft genug iſt, einen Hauptregenbogen und einen Nebenregenbogen. Das Waſſer, aus welchem die Sonnenſtrahlen reflectirt werden, muß groß genug

ſeyn, damit alle in der gehörigen Lage befindlichen Regentropfen von den zurückgeworfenen Strahlen getroffen werden.

Die Ringe um Sonne und Mond, Nebenſonnen u. ſ. w.

Ein viel zuſammengeſetzteres Phänomen, nämlich die Erſcheinung der Nebenſonnen, der Ringe um Sonne und Mond und der hellen, durch die Sonne oder den Mond gehenden Kreiſe, hängt auch von Brechung und Zurückwerfung des Lichtes ab. Die kleinen Höfe um den Mond dagegen entſtehen durch Beugung des Lichtes und gehören nicht hieher. Jene Erſcheinungen kommen in ſehr zuſammengeſetzter Form vor; ich fange indeß mit den einfachern, gar nicht ſeltenen Erſcheinungen an, und gebe die Erklärung, die ich für die richtigſte halte, mit Bemerkung der Punkte, die noch zweifelhaft ſcheinen.

Helle durch die Sonne gehende Kreiſe.

Man ſieht ſehr oft, am beſten im Winter bei ſtarkem Froſte, bei Sonnenaufgang oder Sonnenuntergang, einen feurigen Streifen von der Sonne aus in Geſtalt einer Säule ſenkrecht hinaufwärts gehen, der auch nach Sonnenuntergang noch einige Zeit ſichtbar bleibt. Da man dieſe Erſcheinung zuweilen dann beobachtet, wenn bei heiterem Froſte feine Schneenadeln in der Luft ſchweben, ſo iſt es wohl kaum zweifelhaft, daß die Reflexion des Sonnenlichtes von dieſen cylindriſchen oder prismatiſchen Schneenadeln die Erſcheinung hervorbringt. Die Ueberzeugung davon iſt bei mir dadurch beſtärkt worden, daß man auch am Tage zuweilen bei heiterm Himmel und bedeutender Kälte dieſe feinen Schneenadeln als glänzende Pünktchen da erblickt, wo ſie das Sonnenlicht zurückſpiegeln, und daß dieß am beſten der Fall zu ſeyn pflegt, wenn ſie unter der Sonne vorbeiziehen. Gewöhnlich ſchweben zu ſolchen Zeiten dieſe feinen Schneecryſtalle nur ſparſam in der Luft, und die meiſten horizontal; man ſieht ſie am beſten, wenn man im Schatten einer Wand das Auge ſo ſtellt, daß es kaum noch von dem verticalen Rande der Wand gegen die Sonne geſchützt wird; treibt dann der Wind dieſe Nädelchen ungefähr ſenkrecht gegen die nach der Sonne gezogene Linie vorbei, ſo ſieht man ſie, ſo klein ſie auch ſind, vorglänzen, wenn ſie unter der Sonne vorbeiziehen.

Daß aber dieſe in allerlei Neigungen ſchwebenden Spiegelflächen, wie ſie die Seiten ſolcher horizontalen Nadeln darbieten, die Erſcheinung eines hellen Streifens bewirken können, iſt offenbar; denn wenn (VIII. Fig. 31) S O der zum Auge gelangende Sonnenſtrahl iſt, ſo würde ein Spiegel b c den Strahl s a, ein Spiegel d e den Strahl t f nach O reflectiren, und dem Auge O würden ſich kleine Sonnenbilder in den Richtungen O a, O f und ſo in allen Richtungen zeigen. Dieſe Sonnenbildchen, aus vielen tauſend kleinen Spiegeln uns zugeſandt, können gewiß jene Erſcheinung eines glänzenden, von der Sonne ausgehenden Schweifes hervorbringen. Daß man ihn vorzüglich gut nur dann ſieht, wenn die Sonne im Horizonte ſteht, kann theils davon herrühren, daß die ſehr weit in der Atmoſphäre fortlaufende, nach einem niedrigen Punkte

gerichtete Geſichtslinie mehr Schneenadeln darbietet, theils auch davon, daß die nicht ganz in der richtigen Richtung liegenden Nadeln am Horizonte mehr als in der Höhe zur Verſtärkung dieſes glänzenden Verticalkreiſes beitragen müſſen.

Eine zweite Erſcheinung, die ſich ebenſo einfach zu erklären ſcheint, iſt ein zuweilen ſichtbarer horizontaler heller Kreis, der durch die Sonne geht. Man ſieht ihn faſt immer in Verbindung mit Nebenſonnen. Ein ſolcher Kreis muß ſich zeigen, wenn verticale Schneenadeln in der Luft ſchweben; denn wenn man einen vertical gehaltenen Spiegel in allerlei Richtungen, allemal aber ſo hält, daß er bei beſtändig verticaler Lage ein Sonnenbild zeigt, ſo erſcheint dieſes Sonnenbild ebenſo hoch über dem Horizonte, als die Sonne ſelbſt; unzählige ſolche Spiegel in der Luft ſchwebend können aber überall ein reflectirtes Sonnenlicht und zwar immer in der ſcheinbaren Höhe der Sonne geben, alſo einen hellen Horizontalkreis. Sind die Nadeln nicht vertical, ſchweben aber zahlreich in parallelen und etwas geneigten Richtungen, ſo muß dieſer Kreis etwas von der horizontalen Lage abweichen; aber da er immer durch die Sonne geht, ſo ſchließt ſich in der Nähe der Sonne der aus den etwas geneigten Nadeln hervorgehende Kreis an den Horizontalkreis an und verſtärkt ihn, und hierin liegt ein Grund, warum der helle Kreis in der Nähe der Sonne ſich lebhafter zeigt. Eine genauere Unterſuchung beweiſt, daß bei etwas höherem Stande der Sonne ſelbſt ziemlich geneigt ſchwebende Nadeln bis zu erheblichen Entfernungen von der Sonne zur Verſtärkung des aus den verticalen Nadeln hervorgehenden Horizontalkreiſes beitragen, und vielleicht iſt das ein Grund, warum man ihn im Winter öfter beim Monde geſehen hat, als bei der Sonne, weil nämlich der Mond in der Zeit ſeines ſtärkſten Lichtes im Winter hoch ſteht, die Sonne aber niedrig.

Dieſer horizontale Kreis hat ſich nicht ſelten theilweiſe mit dem verticalen Streif zugleich gezeigt und dann entweder ein Kreuz dargeſtellt, in deſſen Durchſchnittspunkte die Sonne oder der Mond ſtand, oder ein Kreuz dieſen Geſtirnen gegenüber. Die eben angegebene Erklärung iſt auch auf dieſe Erſcheinung anwendbar, nur ſteht ihr das im Wege, daß wir bei der Erſcheinung des Kreuzes horizontal ſchwebende und vertical ſchwebende Nadeln zugleich annehmen müſſen. Ohne dieſe Schwierigkeit ableugnen zu wollen, glaube ich doch, daß das ſo ſehr Genügende jener Erklärung uns berechtigt, ihr getreu zu bleiben, und daß wir die Vermuthung, es möge in einer Luftſchicht die eine Lage der Nadeln, in einer andern Luftſchicht die andre Lage vorherrſchend ſeyn, wagen dürfen, um dieſe Verbindung beider Phänomene zu erklären. Möglich iſt dieß wenigſtens, da ein Luftzug in der einen Schicht die horizontale Lage bewirken kann, während in der andern Schicht völlige Windſtille die verticale Lage begünſtigt.

Ringe um die Sonne.

Dieſe hellen Kreiſe kommen am meiſten im Winter vor, und dieſes ſcheint der Erklärung aus Eisnadeln einigermaßen zur Beſtätigung zu gereichen; aber

eine zweite Erſcheinung, die großen Ringe um Sonne und Mond, in deren Mittelpunkte dieſe Geſtirne ſehen, zeigt ſich auch im Sommer oft, und es könnte daher zweifelhaft ſcheinen, ob man auch dieſe aus der Brechung in Eisnadeln erklären könne. Indeß da, wie Sie bald ſehen werden, ſich eine genau der Theorie des Regenbogens ähnliche Erklärung für dieſe Ringe darbietet, wenn man prismatiſche, in der Luft ſchwebende Eisnadeln annimmt, ſo kann man wohl auch für ſie einer daran geknüpften Theorie ſeinen Beifall nicht verſagen, um ſo weniger, da ſich die Ringe ſo oft mit dem hellen Horizontalkreiſe und mit allen den Kreiſen verbinden, die bei dem vollſtändigen Phänomen der Nebenſonnen geſehen und aus Eisnadeln erklärt werden. Der Umſtand, daß auch im Sommer dieſe Ringe gar nicht ſelten ſind, iſt dieſer Theorie wohl nicht entgegen, da in ſehr großen Höhen ſelbſt im Sommer die Gefrierkälte herrſcht und alſo auch dort Eisnadeln ſchweben oder herabſinken können; fallen ſie bis in die untern, wärmern Schichten herab, ſo werden ſie nicht allein aufthauen, ſondern ihrer Kleinheit wegen ſogar völlig in Dünſte aufgelöſt werden und uns daher nur den Himmel als etwas weißlich, wie mit dünnem Dunſte bedeckt, zeigen.

Dieſe Ringe um Sonne und Mond haben faſt immer einen Halbmeſſer von 21 bis 22 Graden, an ihrem innern Rande ſind ſie genauer begrenzt, als am äußern, und der Raum innerhalb ſcheint weniger weißlich oder weniger Licht zurückwerfend, als der übrige Himmel. Obgleich die Farben dieſer Ringe weit weniger lebhaft ſind, als beim Regenbogen, ſo läßt ſich doch etwas Roth am innern Rande wahrnehmen, und die Nebenſonnen, die ſich oft als lebhaftere Theile der Ringe zeigen, haben deutlich das Roth der Sonne am nächſten und daran ſich anſchließend Gelb, Grün, Blau, jedoch alle dieſe Farben mit einem lebhaften weißen Glanze gemiſcht und nirgends rein hervortretend. Wir wollen jetzt ſehen, was die Theorie der Brechung in Eisprismen für Beſtimmungen giebt.

Daß die in der Luft ſich bildenden Eisnadeln dreiſeitige Prismen und zwar gleichſeitige ſind, das nehmen wir mit gutem Grunde an, weil beim Gefrieren des Waſſers ſich überall die Cryſtalliſationen in Winkeln von 60 Graden bilden und weil die ſechsſpitzigen Schneeſternchen Beweiſe für dieſe Cryſtallform liefern. Wir fragen alſo nun, wo kann bei den mannigfaltigen Lagen ſolcher kleinen Eisprismen, die gewiß ſämmtlich Licht zurückwerfen, ſich irgendwo eine hellere Erſcheinung durch zurückgeworfene oder gebrochene Lichtſtrahlen zeigen? Eine ſolche Lichterſcheinung muß ſich da zeigen, wo Prismen, die nicht ganz genau gleich liegen, doch die zurückgeworfenen Strahlen nach gleicher Richtung in das Auge ſenden, und dieß findet bei den Prismen ſtatt, in welchen die Brechung der Strahlen am kleinſten iſt. Offenbar haben wir, ſo lange die Nadeln noch ſo klein ſind, daß ſie weder vom Winde noch von der Schwere mit bedeutender Gewalt fortgetrieben und in eine beſtimmte Richtung gebracht werden, keinen Grund, eine einzige Richtung der Nadeln als vorwaltend anzuſehen. Die Brechung in jeder dieſer Nadeln zeigt uns alſo das

Sonnenbild an einem andern Orte, ſo wie die durch das Prisma geſehenen Gegenſtände ihren ſcheinbaren Ort ändern, wenn wir das Prisma nach und nach in andere Stellungen bringen; aber ſo wie wir es durch keine Drehung des Prisma's erzwingen können, daß der Gegenſtand, den wir durch das Prisma ſehen wollen, ganz nahe bei dem wahren Orte deſſelben erſcheine, ſondern ſelbſt bei der möglichſt geringſten Brechung, das heißt in dem Falle, wo der Strahl im Innern des Prisma's mit der Seite A′B′ (VIII. Fig. 32) parallel iſt, ein beſtimmter, noch ſehr erheblicher ſcheinbarer Abſtand s O a des durch das Prisma geſehenen Gegenſtandes vom wahren Orte deſſelben ſtatt findet, ebenſo kann uns auch durch jene Eisprismen das Sonnenbildchen zwar in ſehr verſchiedenen Entfernungen vom wahren Orte der Sonne, aber dennoch in keinem kleinern Abſtande, als in jenem, den ich eben als den kleinſten angegeben habe, erſcheinen. Nahe bei der Sonne erſcheint uns alſo der blaue Himmel zwar vermöge der an den Dünſten und an den äußern Seiten der Prismen reflectirten Strahlen etwas erleuchtet, aber die im Prisma gebrochenen Strahlen fangen erſt in der eben beſtimmten Entfernung, welche die Rechnung zu 21¼ Grad für die rothen, zu 22 Grad für die violetten Strahlen angiebt, an, zu dieſem matten Lichte beizutragen. Dieß iſt der Grund, warum ein Raum von 21 Graden um die Sonne wenig glänzend und mit einem rothen Ringe, dem die übrigen Farben ſich anſchließen, umgeben erſcheint. Aber in eben dieſem Abſtande muß ſich zugleich ein lebhafteres Licht, als in größern Entfernungen von der Sonne zeigen. Prismen, die weiter von der Sonne abſtehen, müſſen eine ſehr genau beſtimmte Stellung haben, wenn ſie den gebrochenen Strahl ins Auge ſenden ſollen, indem diejenigen, deren Stellung nur um 1 Grad geändert iſt, den Lichtſtrahl ſchon nicht mehr dem Auge zuſenden; aber in 21 bis 22 Grad Entfernung kann ſich das Eisprisma ſehr erheblich drehen, ohne daß dadurch die Richtung des ausfallenden Strahles erheblich geändert wird, das Auge erhält daher hier aus einer Menge von Prismen die gebrochenen Strahlen und ſieht hier den Himmel vorzüglich hell erleuchtet, — einen hellen Ring um die Sonne. Dieſer ſollte eigentlich innen roth, außen violett ſeyn, aber da die Farben weit weniger als bei dem Regenbogen aus einander gebrochen werden, ſo fallen die rothen vom einen Sonnenrande kommenden Strahlen mit den violetten vom andern Rande zuſammen und geben dem Ringe die weißliche Farbe, aus welcher nur das Roth am innern Rande noch am lebhafteſten hervortritt.

Dieſe ſchon von Mariotte angegebene, von Venturi und Fraunhofer genauer durchgeführte Theorie des erſten Ringes ſcheint als durchaus wohl begründet angeſehen werden zu können. Es ſchließt ſich aber nun an dieſe Theorie ſehr natürlich die Frage, ob es denn nicht noch andre Lagen dieſer Eisprismen gebe, die ebenfalls etwas Merkwürdiges darbieten. Ich habe ſchon bemerkt, daß Prismen, die weniger als 21 Grad ſcheinbaren Abſtand von der Sonne haben, dem Auge gar keine gebrochenen Strahlen zuſenden, und daß in 21 bis 22 Graden Abſtand diejenigen Prismen liegen, die den

reichſten Antheil von Strahlen zum Auge gelangen laſſen; ſtellt man die Betrachtung für noch größere Abſtände an, ſo wird je mehr und mehr die Menge der zum Auge gelangenden Strahlen geringer, und Prismen, die über 43½ Grad von der Sonne liegen, ſenden gar keine gebrochenen Strahlen mehr in das Auge. Sie werden ſich erinnern, daß wir früher einmal den violetten und blauen Rand betrachteten, der die Grenze der durch das Prisma vermittelſt gebrochener Strahlen geſehenen Gegenſtände umgiebt, und ebenſo ſollte hier in 43 Grad Entfernung von der Sonne ein violetter und blauer Rand wegen dieſer äußerſten Grenze der gebrochenen Strahlen ſich darſtellen. Indeß könnte dieſer Rand nur ſehr ſchwach ſichtbar ſeyn, und gewiß kann er nicht das Einzige ſeyn, wodurch ſich uns in ungefähr 43 Graden Abſtand von der Sonne zuweilen ein ſehr ſchöner zweiter Ring darſtellt. Dieſer freilich nur ſelten ſichtbare, alſo wohl mehr vom zufälligen Zuſammentreffen günſtiger Umſtände abhängende Ring zeigt ſehr ſchöne, reine Farben, reiner als ſie ſelbſt im Regenbogen vorkommen; er hat ſein Roth der Sonne am nächſten und ein ſchönes Grün und Blau oder Violett mehr von der Sonne entfernt; aber ſelten ſieht man mehr als ein kleines Stück grade über der Sonne.

Offenbar reicht die eben angegebene Bemerkung nicht hin, um dieſen Ring zu erklären; aber aus eben der Gegend können noch andre wirkſame Lichtſtrahlen in das Auge kommen. Wenn nämlich (VIII. Fig. 33) zwei Prismen rnq, qmp ſo verbunden ſind oder auch nur in einer ſolchen Stellung frei neben einander ſchweben, daß der durch das erſte Prisma ſchon gebrochene Strahl xw mit der Oberfläche des zweiten Prisma's einen ebenſo großen Winkel als mit der des erſten macht, ſo bringt die Brechung im zweiten Prisma ebenſowohl wirkſame Strahlen hervor, wie es im vorigen Falle bei einem Prisma ſtatt fand. Es gehen nämlich zwar die Farbenſtrahlen jeder in verſchiedenen Richtungen hervor, aber gleichfarbige Strahlen, die unter etwas verſchiedenen Richtungen auffallen, gehen in einerlei Richtung hervor, ſo daß auch hier mehrere Prismen zu den dem Auge zugeſendeten Strahlen ihren Beitrag liefern. Hier könnte es nun freilich ſcheinen, als ob die Verbindung unter allerlei Winkeln geſchehen könne, wodurch dann offenbar Ringe von ganz verſchiedenen Durchmeſſern entſtehen müßten und alſo keiner lebhafter als der andre hervortreten würde. Dieſer Einwurf iſt nicht ganz ungegründet, indem zum Beiſpiel, wenn $wqx = 36^0$ iſt, ein Ring von ungefähr 56 Grad Halbmeſſer entſtände, wenn jener 64 Grad iſt, dieſer von 43 Gr. Halbmeſſer für die rothen Strahlen wird; aber dabei tritt nun doch der merkwürdige Umſtand ein, daß für den Winkel $wqx = 70^0$ bis $wqx = 90^0$, wo dieſer Ring ſo klein, als es überhaupt möglich iſt, wird, ſeine Größe faſt völlig gleich bleibt, und alſo dieſe unter ſo verſchiedenen Winkeln verbundenen Prismen, wenn ſie nur die richtige Stellung gegen den Lichtſtrahl haben, alle geeignet ſind, einen rothen Ring von 42° 30′, einen violetten von 44° Halbmeſſer hervorzubringen. Dieſer Halbmeſſer des Ringes iſt genau — ſo weit die wenigen bis jetzt angeſtellten Meſſungen dieß zu behaupten geſtatten — der Halbmeſſer

des beobachteten zweiten Ringes, welcher alſo hiernach aus zwei vereinigt wirkenden Urſachen zu entſtehen ſcheint. Es iſt nämlich bei der Brechung im Eiſe der Abſtand von der Sonne, in welchem dieſer zweite Ring, durch zweimalige Brechung entſtanden, ſich zeigen muß, für die rothen Strahlen 42° 30′, für die mittleren Strahlen 43° 15′, für die violetten Strahlen 44°, und die Entfernung, wo jener blaue Rand ſich zeigen muß, für die violetten Strahlen 43° 40′, für die blauen Strahlen ungefähr 43° 30′; das Blau des letztern miſcht ſich mit dem Grün des erſtern, das Blau des erſtern mit dem Violett des letztern, und grade dieſe Miſchungen ſcheinen vollkommen geeignet, das ſchöne Violett, Blau, Grün hervorzubringen, wodurch dieſer Ring ſich auszeichnet. Genauere Meſſungen und eine noch ſchärfere Beſtimmung der Farbenzerſtreuung im Eiſe werden zeigen, ob dieſe Erklärung die richtige iſt.

Nebenſonnen.

Dieſe Ringe oder großen Höfe um die Sonne erſcheinen ſelten ohne Nebenſonnen, und beſonders der innere, ſo oft erſcheinende Ring zeigt gewöhnlich horizontal neben der Sonne oder neben dem Monde zwei Nebenſonnen oder zwei Nebenmonde. Sie liegen da, wo der weiße Horizontalkreis den Ring durchſchneidet, und ſind ſehr oft kenntlich, wenn auch der weiße Horizontalkreis ſelbſt nicht deutlich zu ſehen iſt. Sie zeigen die Farben, die dem innern Ringe eigen ſind, etwas lebhafter, und haben gewöhnlich einen von der Sonne abwärts ſich etwas weiter fort erſtreckenden Schweif. Die Theorie giebt Gründe an, warum ſie bei hohem Stande der Sonne oder des Mondes etwas außerhalb des Ringes ſtehen können und warum in dieſem Falle zuweilen zwei neben einander erſcheinen. Nebenſonnen auf dem zweiten Ringe, der ſich durch ſchöne Farben auszeichnet, ſind nur ſelten geſehen worden, wie denn auch dieſer Ring ſelbſt ſelten geſehen wird und noch weit ſeltener mit einiger Vollſtändigkeit erſcheint.

Beſchreibung der vollkommenſten Phänomene dieſer Art.

Die bisher beſchriebenen Kreiſe erſcheinen allein oder verbunden und ſtellen den immer noch häufiger vorkommenden Theil des Phänomens dar; ſie ſind aber nur Theile eines Phänomens, das in ſeiner ganzen Vollſtändigkeit höchſt ſelten geſehen wird, doch aber in den nördlichen Gegenden noch am leichteſten hervorzugehen ſcheint. Die Figur (VIII. Fig. 34) ſtellt es ſo dar, wie es ſich nach den Beſchreibungen derer zeigt, die es am vollkommenſten geſehen haben; indeß muß ich bemerken, daß eine Zeichnung auf einer Kugel einen noch genauern Begriff von der wahren Lage der Kreiſe geben würde, als es auf dem Papiere möglich iſt. Hier iſt a die Sonne, durch welche der horizontale Kreis a y g h f x geht, der allemal weiß iſt; d c e x iſt der innere Ring, welcher in ſeltenen Fällen, ſo wie er hier gezeichnet iſt, doppelt erſcheint; w z z z w iſt der zweite Ring, der ſich allemal mit ſchöneren Farben als der erſte Ring, das Roth inwendig, zeigt. So weit gehen meine bisherigen

Erklärungen, die auch von den Nebenſonnen bei x, y Rechenſchaft gegeben haben. Außer dieſen minder ſeltenen Erſcheinungen zeigen ſich aber bei dem vollkommenen Phänomen noch: 1. zwei Nebenſonnen f, g, von reinem Weiß, deren Stelle auf dem Horizontalkreiſe ſich ändert, wenn die Sonne höher ſteigt, und über deren genaue Lage die Beobachter nicht ganz hinreichende Auskunft geben; 2. eine Gegenſonne h, der Sonne gegenüber, mit dieſer gleich hoch ſtehend; 3. zwei allemal höchſt matt erſcheinende Kreiſe, die durch die Sonne und die Gegenſonne gehen, a l h, a m h, deren Neigung gegen einander und gegen den Horizontalkreis, ſo weit die unvollkommenen Beſchreibungen es angeben, 60 Grad iſt; 4. mehrere Berührungskreiſe an den höchſten und tiefſten Punkten der Ringe; die Figur zeigt nur zwei, r e f am innern, p z q am äußern Ringe, aber auch bei d kann ein ſolcher erſcheinen; 5. endlich Berührungskreiſe, die 60 Grade vom unterſten Punkte der Ringe entfernt berühren, wovon bei x i, y k Spuren, als am innern Kreiſe berührend, bei t t, v v aber größere Bogen, den äußern Kreis berührend, gezeichnet ſind. Die Figur iſt dem gemäß gezeichnet, was Lowitz am 29. Juni 1790 in Petersburg beobachtete.

Die Nebenſonnen f, g ſcheinen mir aus einer dritten merkwürdigen Stellung der Prismen erklärt werden zu müſſen. Den innern Ring erklärten wir aus den wirkſamſten, als Grenze der kleinſten Brechung im Prisma hervorgehenden Strahlen, den zweiten Ring als theils durch zweimal wiederholte Brechung entſtehend, theils aber als derjenigen Grenze entſprechend, wo noch die letzten Strahlen aus dem Prisma zum Auge gelangen, und wo alſo ein blauer und violetter Rand ſich zeigen muß. Die jetzt zu betrachtenden Nebenſonnen ſcheinen nun da zu entſtehen, wo die Prismen ſich befinden, die uns eine vollkommene Spiegelung aller Sonnenſtrahlen zuſenden. Wenn die Sonnenſtrahlen, die von s direct in das Auge O (VIII. Fig. 32) kommen, von S, S′, S″, S‴ auf die in verſchiedenen Lagen ſich befindenden Prismen fallen, ſo iſt A′B′C′ dasjenige Prisma, wo der gebrochene Strahl a′b′ der Seite A′B′ parallel iſt und in welchem die kleinſte Brechung ſtatt findet; es iſt alſo eines von denen, welche dem Auge O den innerſten Ring darbieten; hat das Prisma die Lage A B C oder a b c, ſo kommen die äußerſten Strahlen durch Brechung in das Auge O, weil S″ e nur noch an der Seite des Prisma's hinſtreift, alſo der letzte auffallende Strahl für A C B iſt, und weil f O nahe an der Seite des Prisma's a b c hervorgeht, alſo der letzte hervordringende Strahl iſt. Dieſe beiden Prismen ſenden nur noch die letzten gebrochenen Strahlen nach O, und bei der geringſten weitern Fortrückung nach α zu gehen alle Strahlen reflectirt nach O′; eben dieſe reflectirten Strahlen nun ſtellen dem Auge in O vermittelſt des Prisma's $\alpha\beta\gamma$ ein reflectirtes Sonnenbild, das aus der Reflexion aller Strahlen entſteht, dar. Die hiezu erforderliche Lage des Prisma's iſt 88 Grad von der Sonne, ungefähr da, wo die Nebenſonnen f, g beobachtet worden ſind. Ob dieſe Erklärung ganz ausreicht, iſt ſchwer zu entſcheiden; aber ſie iſt wenigſtens bis jetzt die einzige, die einiges

Gewicht zu haben ſcheint, und das ſilberweiße Anſehen dieſer Nebenſonnen deutet auf das Entſtehen aus der vollkommenen Spiegelung in den Prismen hin.

Die Erklärung der beiden geneigten Kreiſe rhma, shla muß ohne Zweifel auf eben den Gründen beruhen, wie die Erklärung des weißen Horizontalkreiſes, alſo auf Spiegelung in den Schneenadeln. Da nun die Schneenadeln ſich immer unter Winkeln von 60 Graden vereinigen, ſo giebt es an den verticalen Nadeln gewiß unzählige, die unter 60 Grad geneigt ſind, und wenn dieſe oder eine überwiegende Zahl von ihnen eine parallele Lage haben, ſo müſſen ſolche helle Kreiſe entſtehen. Ihre Seltenheit hängt wohl davon ab, daß nur ſelten dieſe parallele Lage ſtatt findet.

Der ſchwierigſte Theil des Phänomens ſind die Berührungsbogen, die ſich oben und unten an den Ringen zeigen und auch in 60 Grad Abſtand von dem untern Punkte vorkommen. Es iſt wohl anzunehmen, daß die Erklärung, welche für die obern und untern Berührungsbogen paßt, auch für die ſeitwärts liegenden tt, vv paſſen wird, wenn man auf Nadeln Rückſicht nimmt, die unter einem Winkel von 60 Graden mit denen verbunden ſind, welchen jene Bogen ihr Entſtehen verdanken. Unter den Eisnadeln, welche das Entſtehen des erſten Ringes bewirken, müſſen diejenigen, die grade oberhalb oder unterhalb der Sonne liegen, eine horizontale Lage haben; aber unter den horizontalen Prismen ſind es nicht dieſe allein, die wirkſame Strahlen zum Auge ſenden können, ſondern wenn in irgend einer Schicht der Atmoſphäre viele horizontale Schneenadeln vorhanden ſind, ſo muß ſich auch neben dem obern und neben dem untern Theile des erſten Ringes eine Lichterſcheinung von bedeutendem Glanze, ein vom Ringe ſich nach außen entfernender, ſehr glänzender Bogen zeigen. Die Theorie giebt an, daß dieſe Bogen nicht immer als Kreisbogen erſcheinen müſſen, und bei künftigen Beobachtungen wird es durch Ausmeſſung dieſer Bogen möglich ſeyn, die Richtigkeit der Theorie zu prüfen. Aehnliche Betrachtungen finden für die Berührungsbogen am zweiten Ringe, die allemal ſchön farbig ſind und darin dem zweiten Ringe ſelbſt gleichen, ſtatt; die Theorie zeigt, daß ſie bei 30 Grad Sonnenhöhe ſich beſſer als bei ganz niedrigem Stande der Sonne zeigen müſſen, und bietet daher wieder den Beobachtern Prüfungsmittel dar, um zu ſehen, ob die Erfahrung hiemit übereinſtimmt.

Dieß ſind die, wie ich hoffe, nicht ganz mißlungenen Verſuche, dieſe verwickelte Lufterſcheinung, wenn ſie am meiſten regelmäßig ſich darſtellt, zu erklären; manche einzelne Erſcheinungen, wo noch mehr Kreiſe ſich dargeſtellt haben ſollen, wo der ſtarke Glanz der Nebenſonnen vielleicht hinreichte, um dieſe wieder mit ähnlichen Kreiſen wie die wahre Sonne zu umgeben, oder wo vielleicht andre Nebenumſtände mitwirkten, laſſen ſich ſchwerlich ſchon jetzt völlig erklären, und ich übergehe ſie hier um ſo mehr, da ich ohnehin ſchon eine Entſchuldigung wegen meines langen Verweilens bei einer einzigen Erſcheinung nöthig finde.

Achtunddreißigſte Vorleſung.

Indem ich mich zu mehreren Erſcheinungen wende, welche ihren Grund in der natürlichen Beſchaffenheit unſres Sehorgans haben, ſofern nicht bereits bei Beſchreibung des Auges davon die Rede geweſen iſt, muß ich zuvörderſt noch zwei Fragen beantworten, die man gewöhnlich in Beziehung auf unſer Sehen aufwirft. Die erſte iſt, warum wir mit zwei Augen doch die Gegenſtände nur einfach ſehen. Da es bekannt iſt, daß wir durch ein Seitwärtsdrücken eines Auges bewirken können, daß die Gegenſtände, die wir bei natürlicher Stellung der Augen einfach ſahen, doppelt erſcheinen, ſo ergiebt ſich die Antwort auf jene Frage leicht, nämlich daß es übereinſtimmende Punkte auf der Netzhaut beider Augen geben muß, welche die Eigenſchaft haben, daß die Empfindung nur eines Bildes hervorgeht, wenn die gleichen Bilder auf dieſe übereinſtimmenden Punkte fallen. Ob dieſes durch Gewöhnung hervorgegangen iſt, oder ob in der Bildung der Nerven etwas iſt, dem wir dieſe Vereinigung zweier Eindrücke in eine einzige gemeinſchaftliche Empfindung verdanken, ſcheint noch ungewiß; daß aber die durch Uebung von früheſter Jugend an erlangte Gewöhnung weſentlich dazu beiträgt, daß wir die Gegenſtände mit beiden Augen einfach ſehen, ſo wie wir einen Ton mit beiden Ohren nur einfach hören, kann wohl nicht bezweifelt werden. Wir ſehen entfernte Gegenſtände doppelt, wenn wir beide Augen auf einen nahen Gegenſtand richten; dieß geſchieht aus dem Grunde, weil nun die beiden Bilder des nahen Gegenſtandes auf correſpondirende Punkte der Netzhaut fallen, eben darum aber die beiden Bilder entfernter Gegenſtände nicht auf correſpondirende Punkte treffen können. Bei richtiger Beſchaffenheit beider Augen ſollen dieſe correſpondirenden Punkte ſo liegen, daß beide Augapfel in der Mitte ſtehen, um Gegenſtände grade vor uns zu ſehen, daß beide Augen nach der rechten Seite gewandt ſtehen, um rechts liegende Gegenſtände zu ſehen; bei den Schielenden dagegen ſcheinen die correſpondirenden Punkte eine andre Lage zu haben und eben deswegen ſcheint eine ungleiche Stellung beider Augen nöthig zu werden. Indeß iſt beim Schielen ſehr oft das eine Auge unthätig, und hat daher gar keine beſtimmte Neigung, die gehörige Richtung anzunehmen.

Es giebt einen Punkt im Auge, wo das Bild uns gar keine Empfindung des Sehens gewährt. Wenn man zwei ſchwarze Flecke, etwa von 1 Linie Durchmeſſer, 1½ Zoll von einander entfernt auf weißes Papier gezeichnet, in nahe horizontaler Stellung vor die Augen hält, nun das rechte Auge ſchließt und das linke auf den rechts liegenden Punkt richtet, ſo bemerkt man, indem man das Papier allmählig bis auf etwa 6 Zoll nähert, daß der links liegende Fleck gar nicht geſehen wird, obgleich man ihn bei größerer und auch bei erheblich kleinerer Entfernung wahrnimmt. Der Verſuch iſt leicht anzuſtellen und gelingt leicht, ſobald man ſich nur gewöhnen kann, das Auge wirklich auf jenen andern Punkt unverwandt zu heften. Bei genauer Ausmeſſung der

Lage, die der Gegenſtand und die folglich das Bild im Auge haben muß, um auf dieſe Weiſe unſichtbar zu werden, hat man gefunden, daß die Stelle, wo der Sehenerv ins Auge tritt oder wo ſich die Centralarterie deſſelben befindet, diejenige iſt, die nach dieſem Verſuche unempfindlich für das Licht iſt. Beim gewöhnlichen Sehen bemerken wir dieſes nicht, weil, wenn wir einen einzelnen Punkt genau wahrnehmen wollen, unſer Auge ſich grade gegen ihn wendet, ſtatt daß er bei jenem Verſuche ziemlich entfernt von der Axe des Auges liegen muß.

Eine zweite Frage, die man oft aufgeworfen hat, iſt, warum wir die Gegenſtände aufrecht ſehen, da doch ihr Bild im Auge, ſo wie das durch ein Linſenglas hervorgebrachte Bild, umgekehrt iſt. Dieſe Frage ſcheint auf einem bloßen Mißverſtehen der Art und Weiſe, wie jenes Bild im Auge unſre Geiſtesthätigkeit erregt oder das Bewußtſeyn des Sehens hervorbringt, zu beruhen. Es iſt wahr, wenn ein fremdes Auge auf den Hintergrund unſers Auges ſähe, ſo würden dieſem alle Gegenſtände dort in einem umgekehrten Bilde dargeſtellt erſcheinen; aber offenbar iſt die Seele nicht ein ſolcher Beobachter, der die Lage der äußern Gegenſtände zugleich auch ſieht, der das Oben und Unten noch durch andre Mittel als grade durch jenes Bild kennen lernt. Vielmehr hängt ja der geſammte Eindruck des Sehens einzig und allein von dieſem Bilde ab, und nichts in der Empfindung des Sehens belehrt uns darüber, welcher Theil des Bildes dem obern oder dem untern Theile des Kopfes näher liegt. Dieſe Lage des Bildes iſt daher in Beziehung auf die Vergleichung mit dem Sinne des Gefühls ganz gleichgültig; aber von den erſten Eindrücken des Sehens an hat ſich die Erfahrung über das, was oben und unten iſt, ſo feſt an jenes — wenn auch umgekehrte — Bild geheftet, daß die Verbindung auf die richtige Weiſe unzertrennlich ſtatt findet.

Daß dieſes Bild wirklich umgekehrt iſt, brauche ich Ihnen wohl nicht beſonders nachzuweiſen; aber einen merkwürdigen Verſuch, der ſich hier am beſten anſchließt, will ich doch noch erzählen. Dieſer Verſuch fordert, daß man eine Karte, in die man mit der Nadel ein kleines Loch gemacht hat, ſo vor das eine Auge und gegen das Licht halte, daß man eine Lichtflamme durch die feine Oeffnung ſieht; man hält dabei die Karte am beſten in der Entfernung von 8 bis 10 Zoll vom Auge. Während man ſo die Lichtflamme deutlich durch die Oeffnung ſieht, führt man die Spitze eines Federmeſſers ſehr nahe vor eben dem Auge vorbei, und ſieht nun, wenn die Spitze wirklich nach der linken Seite gekehrt iſt, dieſe in jener Oeffnung nach der rechten Seite gekehrt in die Lichtflamme oder in die Oeffnung eintreten, oder von unten her, wenn ſie wirklich von oben her bewegt wird. Der Grund hievon iſt in der umgekehrten Lage des Bildes zu ſuchen. Es ſey **AB** der Theil der Lichtflamme (**VIII. Fig. 3**), den man durch die Oeffnung **C** ſieht, **DE** ſey der Cryſtall des Auges, **a b** das Bild jener Lichtflamme im Auge. Tritt nun bei **F** die Spitze des Federmeſſers von unten herauf vor das Auge, ſo hindert dieſes zuerſt die von **B** kommenden Lichtſtrahlen, zum Auge zu gelangen, und in **b**

wird das Bild beſchattet, der obere Theil B der Flamme nicht mehr geſehen, ſo wie aber die Spitze hinaufgeht, verdeckt ſie immer niedrigere Theile der Flamme, ſo daß es ausſieht, als ob das Meſſer von oben in die Oeffnung C einträte.

Dauer der Lichteindrücke. Thaumatrop. Stroboſcopiſche Scheiben.

Das Auge bedarf einer gewiſſen Zeit, um einen geſehenen Lichteindruck zum Bewußtſeyn zu bringen, ſo wie anderſeits jeder Lichteindruck, deſſen wir uns bewußt geworden ſind, eine Zeit lang anhält, ehe er durch einen neuen verdrängt werden kann, ſo daß er auch dann noch fortdauern kann, wenn die Urſache, die ihn hervorbrachte, nicht mehr vorhanden iſt. Hierauf beruht die Erklärung zahlreicher Erſcheinungen. Wenn eine Bewegung ſo ſchnell iſt, daß der bewegte Körper bereits eine ganz andre Stelle einnimmt, ehe wir uns ſeines Erſcheinens am erſten Orte bewußt geworden ſind, ſo verſchwindet er, ſobald er dunkel iſt, und nur dann, wenn er eine große Helligkeit beſitzt, erſcheint uns ſeine Bahn als helle Spur, wie z. B. eine ſchnell im Kreiſe geſchwungene glühende Kohle uns als ein leuchtender Kreis erſcheint, ohne daß ſie ſelbſt geſehen werden kann. Im letztern Falle ſehen wir den Körper zugleich an vielen oder allen Stellen ſeiner Bahn, weil der Lichteindruck, den er in verſchiedenen Lagen auf uns macht, fortdauert. Ganz dieſelbe Bewandtniß hat es mit dem zickzackförmigen Wege des Blitzſtrahls, mit der Spur der Sternſchnuppen u. ſ. w. Aber auch eine zu langſame Bewegung können wir nicht ſehen. Wenn wir nämlich einen Körper, der ſich ſehr langſam bewegt, an einer gewiſſen Stelle erblicken, ſo dauert dieſer Eindruck $1/3$ — $1/2$ Secunde fort und kann erſt dann einem neuen Platz machen; wenn aber nach Verlauf dieſer Zeit der Körper ſo wenig fortgerückt iſt, daß der Sehewinkel, unter dem uns der Abſtand ſeines frühern und ſeines ſpätern Orts erſcheinen müßte, zu klein iſt, um von uns wahrgenommen zu werden, ſo fällt das Bild des fortgerückten Körpers mit dem anfänglichen zuſammen und der Körper ſcheint ſtill zu ſtehen. Aus dieſem Grunde können wir die tägliche Bewegung der Geſtirne, ſelbſt im Aequator, wo ſie am ſchnellſten iſt, nicht mit bloßen Augen erkennen, wohl aber bei Anwendung einer 10fachen oder noch beträchtlichern Vergrößerung; bei einer Taſchenuhr können wir das Fortrücken des Minutenzeigers ohne Vergrößerungsglas nicht erkennen u. ſ. w.

Hieher gehört ein ſinnreiches Spielwerk, das ſogenannte Thaumatrop, von dem es ſehr viele Abänderungen giebt. Der Hauptſache nach beſteht es aus einer Scheibe von dünner Pappe oder Elfenbein, auf deren beide Seiten entſprechende Figuren gezeichnet ſind, z. B. auf die eine ein Vogel, auf die andre ein Käfig. Dreht man nun die Scheibe an einer durch ihren Mittelpunkt gehenden Achſe ſchnell um, was mittelſt zweier an derſelben befeſtigten Fäden zwiſchen den Fingern beider Hände geſchehen kann, ſo erſcheinen beide Bilder vereinigt und ſomit ſcheint (in dem vorhin gewählten Beiſpiele) der Vogel im Käfig zu ſitzen; ſtellt das eine Bild den Stamm, das andre die Krone

eines Baumes vor, ſo erſcheint ein aus beiden zuſammengeſetzter vollſtändiger Baum u. ſ. w.

Eine noch intereſſantere Vorrichtung iſt vor zwölf Jahren (1832) faſt genau zu gleicher Zeit von zwei verſchiedenen Phyſikern erfunden und bekannt gemacht worden und zwar von Plateau in Brüſſel unter dem Namen des Phänakiſticops, Phantaſcops oder Phantasmaſcops, von Stampfer in Wien unter dem der ſtroboſcopiſchen Scheibe, unter welchem letztern ſie in Deutſchland allgemein bekannt geworden iſt. Sie beſteht in einer runden Pappſcheibe von etwa 6—10 Zoll Durchmeſſer, die mittelſt einer durchgeſteckten kurzen eiſernen Achſe in verticaler Stellung in ſchnelle Umdrehung verſetzt werden kann. Unweit des Randes hat die Scheibe eine Anzahl viereckige Oeffnungen von etwa ½ Zoll Breite und ¾ Zoll Höhe, und iſt auf der einen Seite mit einer andern Anzahl von Figuren (menſchlichen Geſtalten, Thieren, Maſchinentheilen u. ſ. w.) bemalt, die man durch die Einſchnitte in einem Spiegel betrachtet, welchem man die Scheibe gegenüber hält. Haben nun die Figuren der Reihe nach eine veränderte Stellung, ſo ſcheint es, während immer nur die dem Auge gegenüber, der grade zum Durchſehen dienenden Oeffnung jedesmal am nächſten ſtehende ins Auge gefaßt wird und die auf einander folgenden Lichteindrücke ſich zu einem einzigen verbinden, als nähmen die Figuren eine jener Stellungsänderung entſprechende Bewegung an. Z. B. Räder können ſo gezeichnet ſeyn, daß man nur ein einziges, zu gleicher Zeit in einer rotirenden und einer fortſchreitenden Bewegung begriffenes zu ſehen glaubt, und ſo läßt ſich dem Auge jede andere Bewegung vorführen, wenn ſie nur periodiſch iſt, ſo daß das letzte Bild der Scheibe ſich wieder an das erſte genau anſchließt. Je nachdem die Zahl der Bilder größer oder kleiner als die der Löcher iſt, bewegen ſich jene ſcheinbar nach derſelben Richtung, nach welcher die Scheibe umgedreht wird, oder nach der entgegengeſetzten, und auf eine gewiſſe Zahl von Umläufen der Scheibe kommen mehr oder weniger ſcheinbare Umläufe der Bilder; iſt aber die Zahl der Löcher derjenigen der Bilder gleich, ſo ſtehen die letztern ſtill, und daſſelbe findet ſtatt, wenn die Zahl der Löcher genau das Doppelte oder Dreifache von der der Bilder iſt; dann erſcheinen ſo viele ruhende Bilder als Löcher, aber von ſchwächerer Farbe.

Offenbar iſt dieſe Vorrichtung hinſichtlich der Bilder und der durch dieſelben bewirkten Augentäuſchungen zahlloſer Modificationen fähig. Eine auf demſelben Princip beruhende, von Horner in England ausgeführte und Dädaleum genannte, beſteht in einem hohlen Cylinder mit Löchern, durch welche man die auf der innern Seite, auch wohl auf dem Boden deſſelben befindlichen Bilder betrachtet, ſo daß der Spiegel hier wegfällt. Die Umdrehung des Cylinders geſchieht durch eine Scheibe, auf welcher derſelbe befeſtigt iſt. Dieſe Einrichtung gewährt den Vortheil, daß mehrere Perſonen gleichzeitig die Erſcheinungen beobachten können, ſo wie daß der Apparat mehr im Großen ausgeführt werden kann.

Der vorhin genannte Phyſiker Plateau hat ferner Verſuche angeſtellt, um

die Dauer des Lichteindrucks im Auge zu beſtimmen. Er klebte nämlich auf eine kreisrunde Scheibe einen Papierſtreifen, der von zwei dem Umfange der Scheibe parallelen Kreisbogen und zwei Halbmeſſern begrenzt und entweder weiß oder gefärbt war, und beſtimmte die Geſchwindigkeit, mit welcher die Scheibe in verticaler Richtung umgeſchwungen werden mußte, wenn der Papierſtreifen als vollſtändiger Kreis erſcheinen ſollte, wobei ſich die Dauer des Lichteindruckes für weißes, gelbes, rothes und blaues Papier faſt genau gleich, zu ⅓ Secunde, ergab. Ein etwas andres Reſultat gaben Verſuche, bei denen weiße oder gefärbte Papierſtreifen in Form von Kreisausſchnitten auf ſchwarzen Grund geklebt wurden, ſo daß ein ganzer Kreis aus abwechſelnden weißen (oder farbigen) und ſchwarzen Sectoren beſtand, und die Scheibe ſo ſchnell umgeſchwungen wurde, daß das Auge einen gleichförmigen Farbenton wahrnahm; hierbei wurde die Dauer des Lichteindrucks für Weiß und Gelb ⅕, für Roth nicht ganz ¼, für Blau $^3/_{10}$ Secunde gefunden. Wurden zwei Scheiben in abwechſelnde größere und kleinere, ſchwarze und weiße Sectoren getheilt, ſo daß die weißen Sectoren der einen den ſchwarzen der andern an Breite und Anzahl gleich waren, und ebenſo umgekehrt, und beide ſo ſchnell umgeſchwungen, bis jede einen gleichförmigen Farbenton zeigte, ſo war der Eindruck derjenigen Scheibe ſtärker, bei welcher die weißen Sectoren die größeren waren, aber die erforderliche Geſchwindigkeit der Umdrehung bei beiden völlig gleich.

Intereſſant waren endlich noch folgende, gleichfalls von Plateau angeſtellte Verſuche, welche beſtimmt waren, die relative Lichtſtärke der einzelnen Farben abzumeſſen. Er trug auf die Sectoren einer Scheibe (deren Zahl natürlich gerade ſeyn mußte) abwechſelnd zwei Farben auf, die ſich bei ſchneller Umdrehung der Scheibe zu einer einzigen vermiſchten, z. B. Blau und Roth zu Violett. Je nachdem nun das Verhältniß der Breite der Sectoren ſo oder anders gewählt wurde, neigte ſich die Verbindungsfarbe zu einer der beiden Grundfarben hin, und durch fortgeſetzte Verſuche ließ ſich das Verhältniß auffinden, welches die Sectoren haben mußten, wenn die Verbindungsfarbe ſich zu keiner der beiden Grundfarben mehr als zu der andern hinneigen ſollte. Unter dieſer Bedingung gaben Gelb und Blau ein neutrales Grün, wenn ihre Sectoren ſich wie 1 zu 4 verhielten, Roth und Blau ein ſchönes Violett bei demſelben Verhältniß, Roth und Gelb gaben Orange bei dem Verhältniſſe 5 zu 3. Plateau ſchloß nun, daß diejenige Farbe, deren Sectoren größer ſeyn mußten, die ſchwächere ſey, und leitete demnach aus ſeinen Verſuchen folgende Reihenfolge der Farben nach der Stärke ihres Eindrucks ab: Weiß, Gelb, Roth, Blau. Um ſich von ihrer Richtigkeit auch auf anderem Wege zu überzeugen, befeſtigte er runde weiße und farbige Papierſcheiben von gleicher Größe auf eine verticale ſchwarze Tafel, entfernte ſich hierauf ſo weit, bis ſie dem Verſchwinden ganz nahe waren, und beſtimmte dann den kleinſten hierbei hervorgehenden Sehewinkel, der bei Weiß, Gelb, Roth und Blau der Reihe nach im Schatten 18, 19, 31 und 42, im Sonnenſchein aber 12, 13, 23 und

26 Secunden betrug, wodurch demnach jenes erſte Reſultat vollſtändig beſtätigt wurde.

Subjective Farbenerſcheinungen.

Alle bisher betrachteten Farbenerſcheinungen zeigten ſich uns ſo, daß wir ſie als objectiv, d. h. aus einer wirklichen Erleuchtung durch farbige Strahlen entſtehend, erklären konnten; aber dieſes iſt bei manchen andern Erſcheinungen nicht der Fall, ſondern dieſe zeigen ſich uns da, wo kein äußerer Grund dazu da zu ſeyn ſcheint. Die einfachſten dieſer Erſcheinungen beſtehen darin, daß ein Theil einer überall gleich erleuchteten weißen Fläche uns heller vorkömmt, wenn er neben einem beſchatteten Theile liegt, uns grünlich ſcheint, wenn er neben einer rothen Färbung liegt u. ſ. w.

Wenn wir anhaltend und mit einiger Anſtrengung des Auges auf einen ſchwarzen Kreis oder auf eine andre ſchwarze nicht zu ausgedehnte Fläche ſehen, die auf weißem Grunde liegt, ſo bemerken wir, ſobald wir das Auge ein wenig von jenem, ſcharf ins Auge gefaßten Gegenſtande auf die daneben liegenden weißen Flächentheile wenden, daß dieſe uns etwas glänzender weiß ſcheinen, als die entfernteren; und umgekehrt, wenn ein weißer Kreis auf grauem Grunde liegend mit Anſtrengung des Auges angeſehen wird, ſo bemerkt man, daß das Grau in ſeiner Nähe dunkler erſcheint. Wenn man ein gegen den hellen Himmel gehendes Fenſter lange, bis zu einiger Ermüdung des Auges, anſieht und dann das Auge ſchließt, ſo ſieht man im geſchloſſenen Auge noch ein Bild des Fenſters, in welchem aber umgekehrt die Scheiben dunkler, die Einfaſſungen heller erſcheinen; iſt das Auge ſehr reizbar, ſo kann dieſes falſche Bild im Auge ſich auch vor dem offenen Auge, wenn man auf eine matt erhellte Fläche ſieht, darſtellen. Dieſe Erſcheinung hat in der Blendung und dem Ueberreize, der durch helleres Licht auf einige Theile der Netzhaut ausgeübt worden iſt, ihren Grund; dieſe Theile nämlich, die bei gleichmäßigem ſtarren Hinblicken den ſtärkern Lichtreiz empfunden haben, ſind abgeſtumpfter, als die zunächſt benachbarten; während daher dieſe durch die vom Grau ausgehenden Lichtſtrahlen noch lebhaft afficirt werden, erhalten jene durch eben ſolche Lichtſtrahlen eine ſchwächere Empfindung und die Flächentheile, deren Bild auf die mehr gereizte Stelle fällt, erſcheinen uns dunkel. Im Gegentheil werden die Theile der Netzhaut, die ſich bei dem Blicke auf das Schwarz ausgeruht haben, lebhafter von den Strahlen des Weiß oder Grau gereizt und geben uns daher die Empfindung eines lebhafteren Eindrucks, eines glänzenderen Weiß, eines helleren Grau. Daß wir, nachdem wir in die untergehende Sonne geſehen haben, runde Schattenbilder vor unſerm Auge ſchweben ſehen, iſt bekannt und hat eben den Grund; der dunkeln runden Bilder ſind gewöhnlich viele, ohne Zweifel weil wir die Sonne nicht gut mit der Stetigkeit anſehen können, daß nur ein immer gleicher Theil der Netzhaut afficirt würde.

Hiemit verwandt ſind manche Farbenerſcheinungen. Wenn man eine Stange recht ſchön rothes Siegellack auf ein von der Sonne hell erleuchtetes weißes

Papier legt, ſo zeigt ſich, wenn man das Siegellack unverwandt anſieht und dann das Auge auf das umgebende Weiß des Papieres wirft, dieſes nahe am Siegellack ſehr ſchön blaßgrün. Dieſelbe Erſcheinung zeigt ſich als eine blaue Umgebung, wenn der Gegenſtand gelb oder orange war, als eine blaßrothe, wenn er grün war, oder allgemein, es zeigt ſich dem Auge auf dem umgebenden Weiß die Ergänzungsfarbe jenes farbigen Körpers. Die Erklärung iſt zwar etwas ſchwieriger, als bei dem Schwarz und Weiß, aber doch dieſer ſehr nahe verwandt. Wir ſehen nämlich, daß das Auge abgeſtumpft wird für den Eindruck der rothen Strahlen, wenn dieſe anhaltend und mit lebhaftem Glanze einen beſtimmten Theil der Netzhaut treffen; fällt nun auf eben den Theil der Netzhaut das Bild eines weißen Körpers, ſo machen die aus dem Weiß hervorgehenden blauen, grünen, gelben Strahlen den gewöhnlichen, die rothen Strahlen einen ſchwächern Eindruck, und das Grün, welches aus der Miſchung der erſtern entſpringt, zeigt ſich überwiegend in dem Bilde, welches eigentlich weiß ſeyn ſollte; ein ſehr helles Grün aber muß ſich zeigen, weil es ſich nur in dem Maaße mit dem Weiß gemiſcht zeigt, als der ſchwächere Eindruck des Roth das Grün vorherrſchend macht, indem ja der Eindruck des Roth keineswegs ganz fehlt. Goethe hat dieß etwas anders erklärt, indem er eine Gegenwirkung des Auges annimmt, eine eigene Art von Lebensthätigkeit, die eine Gegenwirkung nach zu ſtarkem Reize hervorruft und hier beim Sehen einen Gegenſatz bewirkt, der auf unſer Bewußtſeyn ſo wirkt, wie es die Ergänzungsfarbe in andern Fällen als objective Farbe thut. Dieſe Erklärung, die mit andern Erſcheinungen der Lebensthätigkeit zuſammenſtimmt, hat ſehr viel für ſich; ſie ſcheint indeß die vorige nicht aufzuheben, ſondern man kann gar wohl annehmen, daß die nach optiſchen Geſetzen aus dem Weiß hervorgehende Ergänzungsfarbe den Eindruck unterſtützt, den jener ſich durch eine entgegengeſetzte Thätigkeit wieder herſtellende natürliche Zuſtand des Organs bewirkt. Dieſe entgegengeſetzte Thätigkeit ſcheint darum nicht geleugnet werden zu können, weil man Farbenerſcheinungen im Hinblicken auf einen dunkeln Grund nach ganz ähnlichen Geſetzen ſieht.

Aehnliche Erſcheinungen kommen manche vor. Die ſchon vorhin erwähnten Schattenbilder der Sonne ſind, wenn man ſie genau betrachtet, blau oder purpurfarben, ſo wie es die Ergänzungsfarbe der orangefarben untergehenden Sonne fordert, und das Bild der Lichtflamme im geſchloſſenen Auge, das nach langem Hinſehen auf die Lichtflamme bemerkt wird, gehört gleichfalls hieher.

Eine andre hiermit verwandte Erſcheinung iſt das Doppelbild bei der Spiegelung in einer gefärbten, unbelegten Glasplatte, wo nämlich der dunkle Körper neben einer weißen Fläche in dem Bilde, welches von der Spiegelung an der Hinterſeite der Glasplatte ausgeht, am Rande die Ergänzungsfarbe von der des gefärbten Glaſes zeigt. Stellt (IX. Fig. 1) AB eine gelbe Glasplatte, DE einen dunkeln Gegenſtand, O das Auge vor, ſo wiſſen Sie, daß ſich dem Auge zwei Bilder des dunkeln Gegenſtandes zeigen, eines durch die zwiſchen d und e zurückgeworfenen Strahlen an der Vorderſeite des Glaſes,

ein zweites durch die zwiſchen d′ und e′ an der Hinterſeite zurückgeworfenen Strahlen. Das Auge O erhält aber von f g her, in der Richtung des zweiten Bildes reflectirte Strahlen, die von F G ausgehen, alſo ſieht es auf dem zweiten Bilde des dunkeln Gegenſtandes das Bild des weißen Himmels, wenn von F G Strahlen deſſelben herkommen. Da wir annehmen, daß der dunkle Gegenſtand in D und E begrenzt iſt, ſo kommen aus der Gegend h reflectirte Strahlen des hellen Himmels zum Auge, und dieſe ſind gelb, weil ſie das Glas zweimal durchlaufen haben; daneben kommen von g f rein weiße Strahlen zum Auge, aber dieſe erſcheinen nun nicht weiß, ſondern durch den Contraſt blau, weil das überall nur Gelb ſehende Auge in dem hier rein hervorgehenden Weiß das Blau als überwiegend erkennt.

Farbige Schatten.

Ganz dieſen Erſcheinungen entſprechend ſind auch die farbigen Schatten, die durch farbiges Licht von der einen und weißes Licht von der andern Seite hervorgebracht zu werden pflegen. Dieſe oft ſehr ſchöne Erſcheinung iſt bekannt genug. Wenn wir bei anfangender Dämmerung uns mit einem brennenden Lichte an das Fenſter ſetzen, ſo ſehen wir auf weißem Grunde einen doppelten Schatten aller Gegenſtände, einen, den die Lichtflamme giebt, und einen, den das Tageslicht giebt; aber dieſe Schatten, die uns jeder einzeln grau vorkommen würden, in denen wir, beim bloßen Tageslichte ſowohl als beim bloßen Kerzenlichte, nur eine ſchwächere Erleuchtung erkennen würden, zeigen ſich jetzt ſchön gefärbt, gelb oder orangefarben der eine, blau der andre. Ueber den erſten geben wir uns leicht Auskunft. Wir ſagen nämlich, da das Kerzenlicht bekanntlich viel Gelb und Roth enthält, derjenige Raum aber, wohin kein Tageslicht fällt, nur von dieſem Kerzenlichte erleuchtet iſt, ſo muß der dem Tageslichte gegenüberliegende, bloß vom Kerzenlichte erleuchtete Schatten gelb oder orangefarben erſcheinen. Was den dem Kerzenlichte gegenüber liegenden Schatten betrifft, ſo ſollte er hiernach weiß erſcheinen, denn das noch übrige Tageslicht erhellt dieſen in Beziehung auf die Lichtflamme beſchatteten Raum; gleichwohl erſcheint uns dieſer Schatten blau, weil das Auge, gereizt durch die gelbe Erleuchtung der ganzen von der Flamme beſchienenen Fläche, im Weiß mehr durch die blauen als durch die gelben Strahlen eine Empfindung der Farbe erhält. Die unbeſchattete weiße Fläche nämlich hat wegen des gelben Kerzenlichtes eine gelbliche Färbung, die wir, weil alles Weiß, ſo wie wir es dann ſehen, eben die Beimiſchung von Gelb hat, nur wenig bemerken; der gegen die Flamme beſchattete Theil hat dagegen rein weißes Licht, und der Contraſt wird uns in dem Anſchein von Blau merklich; die von dieſer rein weißen Fläche ausgehenden Strahlen üben mit dem in ihnen enthaltenen Antheil von Blau auf das von allen Seiten durch das Gelb für dieſe Farbe abgeſtumpfte, für das Gelb gleichſam geblendete Auge einen vorwaltenden Einfluß aus und die rein weiße Erleuchtung erſcheint demnach blau.

Die Richtigkeit dieſer Erklärung geht aus mehreren leicht anzuſtellenden

Verſuchen hervor. Wenn man einen größeren beſchatteten Raum, der mit freiem Auge betrachtet ſchön blau erſcheint, durch ein enges Rohr ſo anſieht, daß von ſeinen Grenzen und von der ihn umgebenden erhellten Fläche gar kein Licht in das Auge kommt, ſo verſchwindet der Anſchein von Blau, der ſich aber ſogleich wieder herſtellt, wenn man die erleuchtete und die beſchattete Fläche abwechſelnd betrachtet oder beide zugleich ins Auge faßt. Ferner kann man die Erleuchtung vom Kerzenlichte als blau erſcheinend erhalten, wenn man eine noch mehr gelbe oder auch orangefarbene Erleuchtung daneben hat. Um dieß zu zeigen, ſtellt man zwei gleiche Lichtflammen zur Beleuchtung einer weißen Papierfläche auf, läßt einen ſchmalen Körper ſeine beiden Schatten werfen und bringt nun zwiſchen die eine Flamme und den durch ſie erleuchteten Schatten ein gelbes Glas; ſogleich wird dieſer Schatten als gelb hervortreten und der andre ſich in einigem Grade blau gefärbt zeigen, aus Gründen, die im Vorigen enthalten ſind. Sieht man durch ein gelbes Glas den mit weißen Wolken bedeckten Himmel an, und hält das Auge ſo, daß es zugleich neben dem Glaſe vorbei einen Theil des Himmels ſieht, ſo iſt dieſer bläulich; ein rothes Glas würde dem frei geſehenen Himmel eine grüne Färbung geben u. ſ. w.

So wie in den meiſten Fällen blaue Schatten als der Erleuchtung durch das Tageslicht entſprechend erſcheinen, ſo kann es auch grüne und rothe Schatten geben. Wenn ein lebhaft grün gefärbtes Haus von der Sonne beſchienen ein helles Licht in das Fenſter wirft, während von einer andern Seite weißes Tageslicht herein ſcheint, ſo iſt der von jenem grünen Lichte erleuchtete Schatten grün, der vom Tageslichte erleuchtete hellroth. Noch beſſer zeigt ſich dieß, wenn das Sonnenlicht durch grüne Vorhänge und von einer andern Seite her weißes Tageslicht einfällt; dann erſcheinen alle die weißen Körper, die gegen das grüne Licht beſchattet ſind, hell röthlich unter dem Einfluſſe des weißen Lichtes. Läßt man das Licht einer Kerze in einem nur dadurch erleuchteten Zimmer zum Theil frei, zum Theil durch eine gefärbte Glasſcheibe auf weißes Papier fallen, und erzeugt in dem dadurch farbig erſcheinenden Theile des Papiers durch einen ſchmalen Körper einen Schatten, ſo zeigt dieſer die Ergänzungsfarbe von der des Glaſes, und erſcheint grün, wenn dieſes roth, ferner violett, wenn es orangefarben, gelb aber, wenn es blau iſt, und umgekehrt.

Andre phyſiologiſche und pathologiſche Farbenerſcheinungen.

Die farbigen Erſcheinungen, die ſich uns bei geſchloſſenem Auge zeigen, gehören zum Theil gewiß auch in die Reihe dieſer Farbengegenſätze. Wenn wir auf eine ſehr erhellte grüne Fläche geſehen haben, ſo zeigt ſich vor dem geſchloſſenen Auge eine ähnliche Figur in violetter Färbung, die ein mehr oder minder lebhafter grüner Rand umgiebt. Auch die Wechſel, die in dieſen Farben vorgehen, gehören gewiß hieher, und ſie eben ſind es, die vorzüglich auf eine lebendige Gegenwirkung des Auges, welche ſich in dem Entſtehen dieſer Ergänzungsfarben zeigt, hindeuten.

Als krankhafte Eigenthümlichkeit mancher Augen muß ich noch die Unſicherheit einiger Menſchen im Unterſcheiden der Farben (die ſogenannte Achrupſie) erwähnen. Sie beſteht darin, daß ſie, bei ſonſt vollkommen deutlichem Sehen aller Gegenſtände, ſelbſt bei der reinſten Beleuchtung, wo andre Menſchen gar keine Schwierigkeit finden, Dunkelblau und Hellroth, Grün und Braun u. ſ. w. zu unterſcheiden, dieſe Farben für ganz gleich erkennen. Die Fälle, deren man viele geſammelt hat, ſind nicht alle übereinſtimmend, indem der eine Dunkelblau und Hellroth nicht unterſcheiden konnte, während er dunkleres Roth als eine ganz andre Farbe anerkannte, der andre Hellgrün mit Hellroth und tieferes Grün mit dunkelm Roth für einerlei hielt, und ſo weiter. In den meiſten Fällen aber waren Grün und Roth die Farben, welche nicht erkannt werden konnten. Hieraus dürfte erhellen, daß Goethe's Meinung, nach welcher dieſer Augenfehler in einer Akyanoblepſie, in einer Unfähigkeit das Blau zu erkennen, beſtehen ſoll, keineswegs auf alle Fälle paßt; indeß iſt die genaue Beſtimmung jener Eindrücke ſchwer, und wenn es auch durchaus nicht immer das Blau iſt, was in dem Farbenkreiſe fehlt, ſondern noch häufiger das Grün und das Roth, ſo iſt doch Goethe's Anſicht, daß eine Unfähigkeit des Sehenerven, von gewiſſen Farbenſtrahlen afficirt zu werden, der Grund des Uebels ſey, nicht unwahrſcheinlich. Uebrigens läßt ſich wohl hoffen, daß über die Reihe der Farben, die ſolche Augen zu unterſcheiden vermögen, vielleicht noch irgend eine allgemeinere Regel aufgefunden werden wird.

Neununddreißigſte Vorleſung.

Die große Reihe von Erſcheinungen, womit ich Sie bisher unterhalten habe, gewährt uns eine ſchon ſehr umfaſſende Kenntniß von den Geſetzen, nach welchen das Licht ſeine Wirkungen äußert, und obgleich noch ſehr merkwürdige Erſcheinungen übrig ſind, ſo iſt es doch wohl angemeſſen, hier einmal ſtill zu ſtehen und die Verſuche, die man gemacht hat, um die bisher betrachteten Phänomene aus einer Hypotheſe über die Natur des Lichtes zu erklären, einer genauern Prüfung zu unterwerfen.

Zwei Hypotheſen ſind es vorzüglich, die man zu dieſem Zwecke aufgeſtellt hat, die Emiſſionstheorie und die Undulationstheorie. Die erſtere iſt vorzüglich von Newton ausgebildet und in der neueſten Zeit von Biot und dem jüngern Herſchel ſo weit, als es für jetzt möglich ſcheint, auf alle Erſcheinungen angewandt worden. Die zweite iſt ſchon von Huyghens mit vielem Scharfſinn durchgeführt, von Euler vertheidigt und in neuern Zeiten aus Gründen, die ſpäter vorkommen, von Young, Poiſſon, Arago, Fresnel, Fraunhofer, Cauchy, Airy weiter ausgebildet worden. Ich werde heute nur von jener reden.

Die Emiſſionstheorie.

Der Hauptgedanke der Emiſſions- oder Emanationstheorie iſt der allerdings am natürlichſten ſcheinende, daß die Lichtmaterie, die wir uns als aus kleinen Körpertheilchen beſtehend denken, von den ſelbſtleuchtenden Körpern ausgehe, und daß dieſe Lichttheilchen durch eine unbekannte Kraft fortgetrieben in graden Linien den Weltraum durcheilen und unſer Auge treffend uns die Empfindung des Lichtes gewähren. Es iſt gegen dieſe Anſicht kein erheblicher Einwurf, daß wir die Urſache der ſo großen, faſt unermeßlichen Geſchwindigkeit des Lichtes nicht kennen, da uns über die erſten Urſachen auch andrer Erſcheinungen gleiche Dunkelheiten übrig bleiben. Aber bedeutender hat man den Einwurf gefunden, daß dieſe ſeit Jahrtauſenden von der Sonne ausgehenden Lichttheilchen die Maſſe derſelben vermindert haben müßten, und daß die von irdiſchen Körpern, vorzüglich von den undurchſichtigen und das Licht wenig zurückwerfenden Körpern aufgefangenen und gleichſam abſorbirten Lichtſtrahlen Veränderungen in dieſen hervorbringen müßten, die wir gleichwohl nicht wahrnehmen. Dieſen Einwürfen läßt ſich die ungemeine Feinheit der Lichttheilchen entgegenſetzen, und die Vermuthung, daß nur wenige Körper (denn einige leiden allerdings eine Veränderung durch das Licht) fähig ſind, durch dieſe feine Materie verändert zu werden. Von der großen Feinheit dieſer Theilchen können wir den überzeugendſten Beweis darin finden, daß die alle Vorſtellung überſteigende Schnelligkeit der Lichttheilchen doch nirgends einen mechaniſchen Effect weder auf andre Körper noch auch auf unſer ſo zartes Auge hervorbringt; nach den Principien der Mechanik kann dieß nur bei einer unermeßlichen Feinheit der ſo ſchnell bewegten Theilchen ſtatt finden. Ein andrer Einwurf, der aber auf eine ähnliche Art auch die zweite Hypotheſe trifft, iſt der, daß die zahlloſen, ſchnell fortbewegten Lichttheilchen den Weltraum in einigem Grade erfüllen, und einen Widerſtand für die Bewegung der Himmelskörper hervorbringen, vor allem aber durch ihr Zuſammentreffen ihre Bewegung gegenſeitig ſtören müßten. Dieſen Einwurf beſeitigt einigermaßen die Vorausſetzung, daß die Lichttheilchen nur in ſehr weiten Zwiſchenräumen einander folgen; denn allerdings dauert der Lichteindruck in unſerm Auge ſo lange, daß, wenn auch nur in jeder Viertelſecunde ein neues Lichttheilchen ankäme, uns keine Unterbrechung merkbar werden würde, und es könnten folglich die Lichttheilchen um zehntauſend Meilen von einander entfernt ſeyn.

Erklärung der gradlinigen Fortpflanzung des Lichts.

Der grade Fortgang der Lichtſtrahlen verſteht ſich nach dieſer Hypotheſe von ſelbſt, indem, ſo lange der Fortgang in einem ganz gleichförmigen Stoffe ſtatt findet, kein Grund zu irgend einer Abweichung von der graden Linie vorhanden iſt. Die mit der größer werdenden Entfernung abnehmende Erleuchtung iſt ebenfalls leicht zu erklären; denn da ſie ohne Zweifel durch Lichttheilchen, die von den erleuchteten Körpern zurückgeſandt werden, uns kenntlich

wird, ſo hängt ſie gradezu von der Zahl der antreffenden Lichttheilchen ab, deren Menge im umgekehrten Verhältniſſe des Quadrates der Entfernungen abnimmt und zugleich auf die oben angegebene Weiſe vom Einfallswinkel abhängt.

Auch die Aberration des Lichtes iſt dieſer Hypotheſe angemeſſen, indem ſich uns die Einwirkung des Lichtes nach den Geſetzen der Zuſammenſetzung der Bewegung darſtellen muß, wenn wir die bewegten Lichttheilchen auf der bewegten Erde wahrnehmen; wir müſſen unſer Fernrohr in die Stellung bringen, die der relativen Bewegung des Lichttheilchens gegen die Erde gemäß iſt, grade ſo, wie die Beobachtung der Aberration es zeigt.

Die Frage, wie die Lichttheilchen die durchſichtigen Körper durchdringen, hat man gewöhnlich als etwas ſchwer zu beantworten angeſehen, das iſt ſie aber wohl nicht; denn bei der unendlichen Feinheit und ſehr großen Geſchwindigkeit des Lichtes mag es wohl ſelbſt durch die härteſten durchſichtigen Körper mit eben der Leichtigkeit durchdringen, wie ein größerer und langſam bewegter Körper durch die Luft. Die Durchſichtigkeit beſtände alſo darin, daß die Lichttheilchen ſich leicht eine Bahn durch den Körper machten, und undurchſichtige Körper wären die, in deren Structur der Fortgang des Lichtes Hinderniſſe findet, durch welche es ſeine Bewegung verliert. Dabei iſt wenigſtens das gewiß, daß Körper, deren Structur deutlich geſchichtet, faſerig oder ſonſt von Zwiſchenräumen unterbrochen iſt, ſich allemal undurchſichtig zeigen, und daß Gleichförmigkeit der Dichtigkeit ſelbſt in den kleinſten Theilen, wie ſie bei flüſſigen Körpern in hohem Grade ſtatt findet, die Durchſichtigkeit befördert; daher wird Papier mit Waſſer getränkt durchſcheinend und mit Oel getränkt noch mehr durchſichtig, weil die Einwirkung des Oeles auf die Lichttheilchen noch näher der Einwirkung der Papiertheilchen gleich ſeyn muß. An den Grenzen ungleich auf das Licht wirkender Körper wird das Licht reflectirt und zerſtreut, alſo im Innern der Körper ganz und gar unwirkſam.

Geſetze der Brechung nach dieſer Theorie.

Da die Brechung des Lichtes ſo genügend von Newton erklärt iſt, ſo will ich dieſe hier eher als die Zurückwerfung abhandeln, um ſo mehr, da die Einwürfe gegen die Erklärung der letztern dadurch verſtändlicher werden. Nach Newton's Meinung üben alle Körper auf die Lichttheilchen eine anziehende Kraft aus, und da dieſe nach der Dichtigkeit und ſonſtigen Verſchiedenheit der Körper ungleich ſtark iſt, ſo muß auch die Aenderung der Richtung des Lichtſtrahls, das iſt die Brechung, verſchieden ſeyn. Um hier die höchſt genügende Reihe der Schlüſſe Newton's zu entwickeln, muß ich auf einige Lehrſätze der Mechanik zurückgehen.

So lange ein Lichttheilchen in einer gleichartigen Materie fortgeht, wird es von allen Seiten gleich angezogen, es iſt daher kein Grund da, warum es von ſeiner graden Richtung abweichen ſollte. Nähert ſich das Lichttheilchen einem dichteren oder das Licht mehr anziehenden Körper, und iſt die Trennungsfläche beider Körper eine Ebne, die ſich weiter als die Wirkungsſphäre

der Körpertheilchen erſtreckt, ſo übt dieſer Körper eine auf die Trennungsfläche ſenkrechte Kraft aus, weil die Anziehung ſeitwärts, als nach allen Seiten gleich, ſich aufhebt. Da, wie wir ſogleich ſehen werden, die Einwirkung auf die Lichttheilchen in ſehr enge Grenzen, viel enger, als daß wir die Ausdehnung derſelben ſinnlich wahrnehmen könnten, eingeſchloſſen iſt, ſo reicht ſelbſt die geringſte Ausdehnung der Trennungsebne hin, um bis über die Grenzen jener Wirkungsſphäre zu reichen, und bei Körpern, die durch krumme Oberflächen begrenzt ſind, betrachtet man mit allem Rechte die Berührungsfläche an dem Punkte, wo der Lichtſtrahl auftrifft, als diejenige Ebne, gegen welche hier die Anziehungskraft des Körpers ſenkrecht iſt, weil die von ihr abweichenden Punkte der Oberfläche ſchon außerhalb der Wirkungsſphäre der Theilchen liegen. Die ganze Einwirkung des unter CD liegenden Körpers (IX. Fig. 2) auf das nach der Richtung EF heran kommende Lichttheilchen iſt alſo ganz derjenigen ähnlich, welche die Schwerkraft auf einen ſchief gegen die Erde zu geworfenen Körper ausübt. Wäre dieſe Einwirkung auf eine bedeutende Entfernung merklich, ſo müßte der Weg des Lichtes EGH allmählig gekrümmt ſeyn, und erſt da wieder in eine grade Richtung übergehen, wo das Theilchen tief genug in den Körper CDH eingedrungen iſt, um von allen Seiten gleiche Wirkung zu erleiden. Hier zeigt nun die Mechanik, daß das Theilchen, wenn es mit einer beſtimmten Geſchwindigkeit ankam, bei dem Eindringen in den ſtärker anziehenden Körper eine größere und zwar eine nur von der Natur des Körpers CDH abhängende Geſchwindigkeit erlangt, die nicht von dem Winkel, unter welchem das Theilchen auftrifft, abhängt; aus dieſem feſt begründeten Satze der Mechanik geht aber als nothwendige Folgerung hervor, daß der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels bei allen Richtungen des Strahls ein gleiches Verhältniß behalten muß, wenn der Körper, aus welchem, und derjenige, in welchen der Strahl übergeht, dieſelben bleiben. Dieſer Satz iſt leicht zu erweiſen. Offenbar nämlich wird der Fortgang des Lichttheilchens nach einer mit der Oberfläche CD parallelen Richtung durch die anziehende Kraft weder befördert noch gehindert, und wenn der Lichtſtrahl in einer beſtimmten Zeit vor dem Eintritte von I nach K und nach dem Eintritte von K nach L kam, ſo iſt IN=LM; daraus aber ergiebt ſich ſogleich, daß für KP=IK das Verhältniß der Senkrechten IN, PQ immer gleich iſt für alle Einfallswinkel, weil das Verhältniß der Geſchwindigkeiten IK, KL nicht von dem Einfallswinkel abhängt. Ich kann nun auch wohl, ohne unverſtändlich zu ſeyn, hinzufügen: das Verhältniß dieſer Senkrechten IN, PQ (die, wenn ſie zu gleichen Entfernungen KI, KP gehören, Sinus der Winkel IKN, PKQ heißen) iſt mit dem umgekehrten Verhältniß der Geſchwindigkeiten oder der in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume KL, IK einerlei. In Beziehung auf die hier gemachten hypothetiſchen Vorausſetzungen ſagen wir alſo, in einer Glasart, wo die Sinus des Einfallswinkels und des Brechungswinkels ſich wie 1 zu $^2/_3$ beim Eindringen aus dem leeren Raum oder wie 1 zu $1^1/_2$ beim Hervorbringen in den leeren Raum verhalten, da iſt

die Geſchwindigkeit des Lichtes 1½mal ſo groß im Glaſe als im luftleeren Raume, und dieſe große Vermehrung der Geſchwindigkeit des Lichtes wird im Eindringen ſo ſchnell hervorgebracht und beim Herausdringen ſo ſchnell wieder zerſtört, daß unſre Sinne den Raum, in welchem dieſe Veränderung als allmählig eintretend vorgeht, durchaus nicht wahrnehmen können. Daß aber die im Glaſe erlangte Geſchwindigkeit nach dem Hervordringen des Lichttheilchens auch völlig wieder zerſtört iſt, wenn das Licht in den luftleeren Raum übergeht, aus welchem es kam, das iſt wohl leicht zu überſehen, da die Attraction beim Austritte genau ſo verzögernd, wie beim Eintritte beſchleunigend wirken muß.

Bei dieſer Betrachtung bietet ſich uns auch eine genauere Beſtimmung deſſen dar, was wir hier im ſtrengen Sinne brechende Kraft nennen ſollen. Die Mechanik lehrt, daß die anziehende Kraft, die hier mit der Brechungskraft des Körpers einerlei iſt, dem Unterſchiede der Quadrate der Geſchwindigkeiten proportional iſt; wir werden daher für Glas, wenn 1 zu 1½ das Verhältniß der Geſchwindigkeiten im luftleeren Raume und im Glaſe iſt, die Brechungskraft $= \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} - 1$ oder $\frac{9}{4} - 1 = \frac{5}{4}$ finden; für Waſſer, wo man das Brechungsverhältniß 1 zu ¾, die Geſchwindigkeit wie $\frac{4}{3}$ zu 1 ſetzen kann, iſt die Kraft $\frac{4}{3} \cdot \frac{4}{3} - 1 = \frac{7}{9}$, und ſo würde man in allen Fällen rechnen. Genauere Beſtimmungen ergeben die Brechungskraft beim Diamant = 5,1, beim Sapphir = 2,2, beim Flintglaſe = 1,69, beim Tafelglaſe = 1,53, beim engl. Kronglaſe = 1,37, beim Olivenöl = 1,16, beim Waſſer = 0,78.

An dieſe Berechnung der Brechungskraft hat ſchon Newton eine wichtige Bemerkung geknüpft. Im Allgemeinen ſteigt, wie ſich erwarten läßt, die Brechungskraft mit der Dichtigkeit, ſo daß zum Beiſpiel die Dichtigkeiten des Flintglaſes und Kronglaſes ſich wie 1,69 zu 1,15, die Brechungskräfte wie 1,69 zu 1,37 verhalten, die Dichtigkeit des Sapphirs zur Dichtigkeit des Kronglaſes wie 2,2 zu 1,38, die Brechungskraft bei jenem 2,2, bei dieſem 1,37 iſt u. ſ. w.; aber die brennbaren Körper machen hiervon eine höchſt auffallende Ausnahme, ſo daß ſie eine viel ſtärkere Brechungskraft haben, als ihre Dichtigkeit zu fordern ſcheint. Der Diamant iſt nicht ſo dicht als Flintglas und hat gleichwohl eine dreimal ſo große Brechungskraft als dieſes; der Sapphir iſt bedeutend ſchwerer als der Diamant, und doch hat dieſer eine 2¼mal ſo große Brechungskraft; Olivenöl iſt ſo leicht, daß Kronglas als 2¾mal ſo dicht angegeben werden kann, und doch ſteht die Brechungskraft des Olivenöls der des Kronglaſes nicht viel nach. Indeß auch bei andern Körpern hängt dieſe Brechungskraft nicht ſo beſtimmt von der Dichtigkeit ab, und es erhellt, daß auch hier die mannigfaltigſten Verſchiedenheiten, welche ungleiche Verwandtſchaften der Körper zum Lichte bedingen, ſtatt finden mögen. Nimmt man auf die geringe Dichtigkeit des Phosphors Rückſicht, ſo ſteht er in dem Maße ſeiner Brechungskraft noch über dem Diamant, auch der Schwefel geht dieſem letztern noch voran; nach dem Diamant folgen die Oele, Harze,

Campher; Waſſer und Salzſäure, welche Hydrogen enthalten, ſtehen vor den Sauerſtoffſäuren, den Glasarten, den Edelſteinen u. ſ. w.

Ich kehre zu der Theorie der Brechung zurück, die uns noch über eine andre, Ihnen ſchon bekannte Erſcheinung vollkommenen Aufſchluß giebt. Sie erinnern ſich der Umſtände, wo an der Rückſeite des Glaſes die Brechung in Zurückwerfung überging, wo z. B. im Prisma ſich alle Gegenſtände im vollſten Glanze geſpiegelt zeigten; die Theorie führt auf dieſen Fall als auf eine nothwendige Folgerung. Obgleich die Brechung ſo plötzlich erfolgt, daß die Krümmung des Lichtſtrahls, durch welche der Uebergang aus der Richtung vor der Brechung in die Richtung nach der Brechung ſtattfindet, ganz unmerklich iſt, ſo wird es mir doch erlaubt ſeyn, die unmerkliche kleine Krümmung, gleichſam ſtark vergrößert geſehen, ſo darzuſtellen, daß ich den aus dem Glaſe AFGL hervordringenden Strahl AB (IX. Fig. 3) als bei B allmählig der mindern Anziehung der Luft unterworfen, bei C aus dem Glaſe hervordringend, bei D die ganze Wirkungsſphäre des Glaſes verlaſſend und nun nach der graden Linie DE in der Luft fortgehend zeichne. Bei dem wirklich in die Luft hervordringenden Strahle wird durch die zurückziehende Kraft des Glaſes AFG die Geſchwindigkeit vermindert und die Richtung des Strahles der Richtung der Oberfläche FG näher gebracht; aber wenn der Strahl unter einer ſolchen Neigung wie IH ſich der Oberfläche nähert, ſo läßt ſich leicht überſehen, daß der Strahl in der Gegend K ſchon alle gegen die Oberfläche zu gerichtete Geſchwindigkeit verloren haben kann, und daß, wenn dort ſeine Richtung mit FG parallel geworden iſt, ehe das Lichttheilchen die Wirkungsſphäre des dichteren Körpers verlaſſen hat, nun die anziehende Kraft des Glaſes das Lichttheilchen nöthigen wird, eine Bahn der IHK ganz ähnlich nach KLM zu durchlaufen. Für unſre Beobachtung iſt der ganze Theil HKL der Bahn des Lichttheilchens als ein unmittelbar an der Oberfläche liegender Punkt anzuſehen, und der Lichtſtrahl zeigt ſich uns als unter eben dem Winkel reflectirt, unter welchem er ankommend die Oberfläche erreicht hatte.

Dieſe vollkommene Reflexion kann eigentlich, wenn wir die Betrachtung ſo auf eine, weit über die Schärfe der Sinne hinausgehende Weiſe anſtellen, in zwei verſchiedenen Fällen ſtatt finden, indem jener Punkt K, wo der Rückgang gegen das Innere des dichtern Körpers anfängt, entweder noch innerhalb des dichtern Körpers, oder ſo nahe außerhalb deſſelben in K liegen kann, daß er noch in der Wirkungsſphäre des dichteren Körpers ſich befindet. In beiden Fällen iſt die vollkommene Zurückwerfung gleich gut vorhanden; aber nur in dem erſteren Falle läßt ſich die intereſſante Anwendung von dieſer Betrachtung machen, welche Wollaſton angegeben hat und bei der ich einen Augenblick verweilen will.

Sie haben im Vorigen geſehen, daß wir Mittel haben, für feſte und flüſſige durchſichtige Körper das Brechungsverhältniß und folglich auch die Brechungskraft zu finden, und daß dieſes ſogar für ſo zerſtückelte durchſichtige Körper, von denen man keine erhebliche Stücke erhalten kann, gelingt; aber an die

Beſtimmung der Brechung in undurchſichtigen Körpern darf man, ſcheint es, gar nicht denken, und gleichwohl bietet ſich uns hier ein Weg dazu dar. Geſetzt der Körper FGE (IX. Fig. 3), der eine viel geringere Brechungskraft als AFG hat, wäre undurchſichtig, ſo könnte noch immer die Anziehungskraft des durchſichtigen Körpers AFG, in Vergleichung gegen die ſchwächere Anziehungskraft des undurchſichtigen, bewirken, daß das Lichttheilchen die Bahn IKM durchliefe, und wenn dieſe ſich ganz innerhalb des durchſichtigen Körpers befände, ſo würde man die Zurückwerfung wahrnehmen können, ſtatt daß beim Eindringen in den undurchſichtigen Körper alle weitere Wahrnehmung aufhören würde. Die Beobachtung, wie klein der Winkel IHB werden muß, damit dieſe Reflexion einzutreten anfange, giebt alſo auf eine der Hauptſache nach leicht zu überſehende Weiſe die Größe der Brechungskraft des undurchſichtigen Körpers. Dieſe Beſtimmung iſt freilich nur da anwendbar, wo die Brechungskraft des undurchſichtigen Körpers nicht zu groß iſt, und daher kann man bei Metallen und andern Körpern, die eine große Brechungskraft zu beſitzen ſcheinen, keinen Gebrauch davon machen; aber einige Anwendungen finden doch ſtatt. Malus hat dieß am Wachs gezeigt, deſſen Brechungskraft man im flüſſigen Zuſtande, wo es durchſichtig iſt, unterſuchen, und das man auch erhärtet, als undurchſichtigen Körper, an der Hinterſeite des Prisma's anbringen und nun den Winkel, bei welchem die volle Reflexion anfängt, beobachten kann. Berechnet man aus dem letztern Verſuche die Brechungskraft des undurchſichtigen Wachſes, ſo findet man ſie von der des flüſſigen nur ſo viel, als die etwas veränderte Dichtigkeit fordert, verſchieden.

Zurückwerfung des Lichtes. Ungleiche Zuſtände der Lichttheilchen.

Von dieſen ſo ſchönen Folgerungen aus der bei der Brechung ſtattfindenden Anziehung der Körper auf die Lichttheilchen gehe ich zur Erklärung der Zurückwerfung der Lichtſtrahlen an den Spiegeln über, die nicht ſo einfach aus der Emiſſionstheorie nachgewieſen werden kann. Zwar hat man ſich oft genug begnügt, die feinen Lichttheilchen als den Geſetzen der Elaſticität gemäß von der vollkommen ebenen Oberfläche des Spiegels zurückgeworfen darzuſtellen; aber dieſe Vorſtellung thut nicht einmal der Spiegelung auf der Vorderfläche des harten oder dichteren Körpers Genüge, und noch weit weniger der Spiegelung an der Hinterfläche, wo ſie doch immer wenigſtens im ſchwachen Grade ſtatt findet. Selbſt für die Vorderfläche nämlich findet der wichtige Einwurf ſtatt, daß wir aus andern Gründen genöthigt ſind, die Lichttheilchen als ſo fein anzunehmen, daß die Politur unſrer Spiegel dagegen als ſehr unvollkommen und noch große Unebenheiten darbietend anzuſehen iſt. Daß aber jedes Hineintreffen zwiſchen die Theile der Vorderfläche ein Zerſtreuen der Lichtſtrahlen bewirken müſſe, ein Abweichen von dem genauen Geſetze der Zurückwerfung an einer geometriſch vollkommenen Ebene, das iſt wohl klar genug. Wahr iſt es freilich, daß ſelbſt der ſchönſte Spiegel nicht alles Licht zurückwirft, daß nur wenig über die Hälfte den Geſetzen der Reflexion folgt;

und alles übrige alſo theils zerſtreut zurückgeworfen wird, theils in den feſten Körper eindringt und verloren geht; aber es ſcheint dennoch, daß die Unvollkommenheit der Spiegelfläche noch größere Unregelmäßigkeit bewirken müßte. Newton hat daher nöthig gefunden, den Körpern auch eine an ihren Oberflächen wirkſame Reflexionskraft oder zurückſtoßende Kraft beizulegen, und wenn man die Wirkungsſphäre dieſer als die Größe der Unebenheiten der Oberfläche übertreffend anſieht, ſo bildet die Grenze der Wirkungsſphären ABC (IX. Fig. 4) oder der um a, b, c, d, e, f, g gezogenen Kreiſe eine mehr der Ebene nahe kommende Fläche, als die feſte Oberfläche a f b c g d e ſelbſt. Dieſe zurückſtoßende Kraft raubt den ſich nähernden Lichttheilchen ihre gegen die Ebene der Oberfläche AB ſenkrechte Geſchwindigkeit (IX. Fig. 5); da aber dabei die mit der Ebne AB parallele Geſchwindigkeit ungeändert bleibt und das in D angekommene Theilchen, nachdem es alle gegen AB zu gerichtete Geſchwindigkeit verloren hat, eine von AB abwärts gehende Geſchwindigkeit nach eben denſelben Geſetzen wieder erlangt, nach denen jene verloren wurde, ſo muß DE unter eben dem Winkel wie CD gegen AB genigt ſeyn.

Aber obgleich niemand zweifeln kann, daß eine ſolche Abſtoßungskraft die Geſetze der Spiegelung vollkommen erkläre, ſo hat man doch gegen die Vorausſetzung, daß eine ſolche Kraft hier wirkſam ſey, den wichtigen Einwurf gemacht, es ſey nicht wohl denkbar, daß in eben der Gegend, wo eine Anziehungskraft der Körper auf die der Refraction unterworfenen Lichttheilchen ſtatt finde, eine Abſtoßungskraft auf die der Reflexion unterworfenen Lichttheilchen anzunehmen ſey, und ferner erhelle nicht, warum einige Lichttheilchen zurückgeworfen werden, andre aber ihren Weg fortſetzen. Dem letzten Einwurfe weicht Newton durch eine, hier noch nicht ganz begründete, aus andern Erſcheinungen aber einen höhern Grad von Wahrſcheinlichkeit erhaltende Vorausſetzung aus, indem er die Lichttheilchen als einem wechſelnden Zuſtande unterworfen anſieht, vermöge deſſen daſſelbe Lichttheilchen bald zu einer leichtern Zurückwerfung geeignet, bald einer leichteren Durchlaſſung durch die jene zwei ungleichen Körper trennende Oberfläche fähig iſt. Die Gründe, die für dieſe Abwechſelungen, für dieſe Anwandlungen leichtern Durchgangs und leichterer Zurückwerfung ſprechen, werde ich ſpäter anführen; hier genügt es, zu bemerken, daß die Zurückwerfung einiger Lichtſtrahlen, die Durchlaſſung anderer allerdings ſtatt finden kann, wenn eine ſolche ungleiche Einwirkung der Kräfte angenommen wird. Wir würden demnach die an irgend eine Oberfläche antreffenden Theilchen als in allen verſchiedenen Phaſen der Anwandlungen (das heißt in allen verſchiedenen Zuſtänden, welche den Uebergang von der leichteſten Zurückwerfbarkeit bis zu der größten Fähigkeit, durchgelaſſen zu werden oder in den andern Körper einzudringen, darſtellen) antreffend anſehen müſſen, und dann würden am leichteſten diejenigen Theilchen zurückgeworfen werden, die ſich in dem Zuſtande der leichteſten Zurückwerfung befinden; dieſe würden, ſelbſt bei ſenkrechtem Auftreffen auf die Trennungsfläche beider Körper, ihre ganze Geſchwindigkeit durch die abſtoßende Kraft

des Körpers verlieren und eine neue abwärts gerichtete Geſchwindigkeit erhalten, ſo daß ſie ſelbſt in dieſem Falle eine theilweiſe Zurückwerfung des Strahles ergäben. Wenn der Einfallswinkel ſich vom rechten Winkel entfernt, ſo iſt die ſenkrecht gegen die Oberfläche gerichtete Geſchwindigkeit deſto geringer, je näher die Richtung des Strahles mit der Richtung der Oberfläche übereinſtimmt; je mehr dieß der Fall iſt, deſto leichter wird die abſtoßende Kraft dieſe gegen die Oberfläche ſenkrechte Geſchwindigkeit zerſtören, deſto mehr werden alſo auch diejenigen Theilchen, die weniger leicht zurückgeworfen werden oder in einem Zuſtande ſind, der ſie den abſtoßenden Kräften weniger unterworfen macht, ſich mit den zurückgeworfenen vereinigen, und es wird das eintreten, was ſehr bekannte Erfahrungen lehren, daß bei ſchief einfallenden Strahlen die durch Spiegelung zurückgeworfenen Strahlen immer zahlreicher werden. Dieſe Schlüſſe gelten auf ähnliche Weiſe da, wo der Lichtſtrahl aus einem dünnern Körper in einen dichtern übergeht, wie da, wo er den dichtern verläßt, um wieder in einen dünnern überzugehen.

Dieſe auf das Licht einwirkenden Kräfte ſcheinen an der Oberfläche zweier Körper in abwechſelnden Schichten wirkſam zu ſeyn, ſo daß das Theilchen vielleicht einem abwechſelnden Wirken beider Kräfte unterworfen iſt. Die anziehende Kraft muß bei dem Eintritt in dichtere Körper am früheſten auf den Lichtſtrahl wirken, indem ſelbſt von denjenigen Lichtſtrahlen, die den allerkleinſten Winkel mit der Brechungsebne oder der Ebne, wo beide Körper an einander grenzen, machen, ſelbſt von den Lichtſtrahlen alſo, deren gegen dieſe Ebne gerichtete Geſchwindigkeit leicht völlig zu zerſtören iſt, dennoch immer einige Theilchen in den dichteren Körper eindringen; wäre in Beziehung auf dieſe die abſtoßende Kraft die zuerſt oder bis zu größern Fernen einwirkende, ſo würden ſie gar nicht in den Wirkungskreis der anziehenden Kräfte gelangen.

Merkwürdig iſt hiebei die Erfahrung, daß dieſe anziehenden und abſtoßenden Kräfte in einer ſo genauen Uebeinſtimmung ſtehen, daß da, wo beim Uebergange aus einem Körper in den andern die Brechung gering iſt, auch die Zurückwerfung gering iſt, und da, wo jene ganz aufhört, auch dieſe in den meiſten Fällen ganz verſchwindet; indeß macht B r e w ſt e r die Bemerkung, daß dieſes gänzliche Verſchwinden der zurückgeworfenen Strahlen, wenigſtens in einigen Fällen, wo doch die Brechung vollkommen aufhörte oder wo die anziehenden Kräfte ſich als völlig gleich bei beiden Körpern zeigten, nicht im ſtrengſten Sinne ſtatt fand.

Ungleiche Einwirkung auf die verſchiedenen Farbenſtrahlen.

Die verſchiedene Brechbarkeit der einzelnen Farbenſtrahlen erklärt ſich hier aus der ungleichen Gewalt, mit welcher die anziehende Kraft der Körper auf die verſchiedenen Lichttheilchen, die unſerm Auge den Eindruck einer verſchiedenen Farbe geben, wirkt. Die Lichttheilchen, die unſerm Auge das Violett darſtellen, werden in allen Fällen am ſtärkſten angezogen, wo der Uebergang

in einen das Licht ſtärker anziehenden Körper ſtatt findet, und der am ſtärkſten gebrochene Strahl zeigt ſich uns daher als violett; die Theilchen, die den Eindruck des Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth geben, ſind, je näher ſie dem Roth ſtehen, deſto weniger einer ſtarken Anziehung unterworfen, und da es eine Abſtufung, eine ſtetige Folge dieſer Theilchen giebt, ſo breitet der Strahl ſich in die ſtetige Folge ungleich gebrochener Strahlen aus, die wir durch die Verſuche kennen lernen. Die Verwandtſchaft der einzelnen Körper gegen die eine und gegen die andre Art der Lichttheilchen iſt nicht in übereinſtimmendem Maaße ungleich, daher iſt die Farbenzerſtreuung, ſelbſt bei gleicher Brechung der mittleren Farbenſtrahlen, bei verſchiedenen Körpern ungleich, daher ſteht auch nicht in jedem prismatiſchen Farbenbilde die Ausdehnung einer beſtimmten Farbe in demſelben Verhältniß zum ganzen Farbenbilde, ſondern es finden diejenigen Ungleichheiten in der Farbenzerſtreuung ſtatt, die ich ſchon früher erwähnt habe.

Bei der Zurückwerfung findet keine Farbenzerſtreuung ſtatt. Denn obgleich es wohl nicht zu bezweifeln iſt, daß, eben wegen dieſer ungleichen Einwirkung der anziehenden und abſtoßenden Kräfte auf die verſchiedenartigen Lichttheilchen, der Weg der zurückgeworfenen violetten Theilchen ein andrer, als der Weg des rothen Lichtes iſt, ſo ſind dieſe Wege doch nur in dem unmerklich kleinen Raume, ſo weit die Wirkungsſphäre jener Kräfte ſich erſtreckt, etwa ſo wie CDE, CdE (IX. Fig. 5.), verſchieden, nach vollendeter Einwirkung iſt für die einen wie für die andern die Neigung des zurückgeworfenen Strahles ſo groß, wie die des einfallenden Strahls, und alle Farbenſtrahlen gehen parallel fort, vereinigen ihre Wirkung auf unſer Auge und ſtellen uns alſo ein Weiß dar. Nur da, wo bei dem Hervorgehen aus einem das Licht ſtärker brechenden Körper einige Farbenſtrahlen ſchon die vollſtändige Reflexion erleiden, während andre noch in den anliegenden Körper übergehen, muß diejenige Färbung des Spiegelbildes ſtatt finden, die wir früher kennen gelernt haben.

Größe der hier wirkenden Kräfte.

Mit welcher Gewalt aber dieſe Kräfte auf die Lichttheilchen wirken müſſen, das überſteigt allerdings ganz und gar unſre Vorſtellungen. Das Licht, welches im leeren Raume eine Geſchwindigkeit von 42000 Meilen in 1 Secunde hat, verliert dieſe an der Spiegelfläche gänzlich und erlangt die ebenſo große Geſchwindigkeit rückwärts gehend wieder, und zwar während es einen Raum, der an Kleinheit als unermeßbar erſcheint, durchläuft. Ebenſo erlangt das Licht im Glaſe in ſo kurzem Uebergange, in einer Schicht, deren Dicke uns als völlig verſchwindend erſcheint, eine $1\frac{1}{2}$ mal ſo große Geſchwindigkeit, welche beim Wiederhervortreten ebenſo ſchnell wieder verloren geht. Aber wenn uns dieſe unendlich ſcheinende Wirkſamkeit der Kräfte als unglaublich vorkömmt, ſo nöthigt uns doch die uns bekannte mächtige Einwirkung der chemiſchen Kräfte auf die Körper zu dem Geſtändniſſe, daß dieſe den feſteſten Zuſammenhang der Theilchen überwindenden Kräfte uns ebenſo unbegreiflich ſind, daß wir viel zu wenig dieſe, gleichſam das innere Weſen der Körper betreffenden

Einwirkungen zu erkennen im Stande ſind und daher vom Erſtaunen über die mächtigen Wirkungen nicht zu ſchnell zum Zweifel, ob es ſolche Kräfte geben könne, übergehen dürfen.

Vierzigſte Vorleſung.

Die Undulationstheorie.

Obgleich die Hypotheſe, womit ich Sie neulich unterhalten habe, für die bis jetzt näher angegebenen Lichtphänomene eine in vieler Hinſicht ſehr befriedigende Erklärung darbot, ſo hat doch ſchon Newton's ſcharfſinniger Zeitgenoſſe Huyghens eine zweite Hypotheſe aufgeſtellt und ihre Uebereinſtimmung mit den Erſcheinungen gründlich darzuthun geſucht. Dieſe Theorie, die man die Undulations- oder Vibrationstheorie genannt hat, ſchließt ſich an die Uebereinſtimmung an, die zwiſchen dem Schalle und dem Lichte ſtatt findet, und gründet ihre Schlüſſe auf die Geſetze der Vibrationsbewegung. Es iſt wahr, daß man bei der oberflächlichen Beobachtung des Schalles gar wohl an eine Emiſſionstheorie des Schalles denken, daß man von Schalltheilchen, die mit erheblicher Geſchwindigkeit von dem ſchallenden Körper ausgehend unſer Ohr erreichen und die beim Echo zurückgeworfen werden, reden könnte, und die Ueberzeugung, daß man dieſe, vielen Schein für ſich habende Hypotheſe doch ganz aufgeben müßte, führt offenbar die Frage herbei, ob nicht unſre Vertheidigung der Emiſſionstheorie des Lichtes auf einer ebenſo fehlerhaften Anſicht beruhe.

Fortpflanzung der Undulationen im Aether. Lichtwellen.

Die Undulationstheorie geht davon aus, eine den ganzen Weltraum erfüllende feine Materie, die man Aether genannt hat, anzunehmen. Dieſe muß freilich ſo fein ſeyn, daß der Widerſtand, welchen ſie der Bewegung der Planeten entgegenſetzt, als unmerklich angeſehen werden kann, weil die Beobachtungen nicht geſtatten, einen für dieſe erheblichen Widerſtand anzunehmen; indeß iſt wohl einiger Grund da, um einen die weniger dichten Cometen etwas in ihrem Laufe aufhaltenden und die Zurückbeugung ihres Schweifes vermehrenden Widerſtand vorauszuſetzen, ſo daß das Daſeyn eines ſolchen, wenn gleich überaus dünnen Aethers eher etwas für als gegen ſich hat. Indem wir nun die Entſtehung der Lichterſcheinungen aus Vibrationen oder Undulationen dieſes Aethers, den Vibrationen der Lufttheilchen beim Schalle entſprechend, erklären wollen, müſſen wir dem Aether einen ſehr hohen Grad von Elaſticität beilegen. Sie erinnern ſich nämlich, daß wir ſchon bei der Fortpflanzung des Schalles die Folgerung theoretiſch begründet fanden, daß die Geſchwindigkeit des Schalles in irgend einer Luftart deſto größer ſey, je größer die Elaſticität dieſer Luftart in Vergleichung gegen ihre Dichtigkeit iſt; die

außerordentliche Geſchwindigkeit des Lichtes kann daher nur aus einem noch viel höhern Grade von Elaſticität des Aethers hervorgehen. Werden nun die Lichterſcheinungen durch Schwingungen oder Vibrationen der ſelbſtleuchtenden Körper hervorgebracht, ſo werden dieſelben durch den Aether ebenſo, wie die Schallvibrationen durch die Luft fortgepflanzt und gelangen ſo zu unſerm Auge. Was die unaufhörlich gleichförmigen Zitterungen bei den ſelbſtleuchtenden Körpern hervorbringt, das zu beſtimmen können wir wohl als außer den Grenzen unſrer Forſchungen liegend anſehen; ſo viel aber erhellt wenigſtens, daß hier von keinem Verluſte an Beſtandtheilen für den leuchtenden Körper und von keinem Zuführen neuer Theilchen für den lichtempfangenden Körper die Rede iſt; ſondern jenem wird nur eine urſprüngliche, dieſem, ſofern er ſich als erleuchtet zeigt, eine durch die Aetherſchwingungen mitgetheilte Vibration zuzuſchreiben ſeyn.

Bei den Schallſchwingungen fanden wir, daß ſtärkere und ſchwächere Vibrationen ſich gleich ſchnell fortpflanzen, daß aber die Verſchiedenheit, welche wir Höhe und Tiefe der Töne nennen, von der Schnelligkeit der Wiederholung gleicher Vibrationen abhängt; auf ähnliche Weiſe haben wir hier allen Grund, die Geſchwindigkeit des Lichtes für jede ſtärkere oder ſchwächere Lichterſcheinung und für alle Farbenſtrahlen als gleich anzuſehen, die Verſchiedenheit der Farben aber erklärt ſich durch die mit mehr oder minderer Schnelligkeit auf einander folgenden Lichtwellen. Wenn wir bei den Tönen nach der Länge einer Welle gefragt hätten, ſo würden wir den Wellen, die den Ton C (das große C) hervorbringen, eine Länge von 8 Fuß beilegen, weil unſer Ohr 128 mal in einer Secunde durch gleiche Erſchütterungen getroffen wird, wenn es dieſen Ton wahrnimmt, und eine 8 Fuß Raum einnehmende Welle grade $^1/_{128}$ Secunde gebraucht, um mit allen ihren Theilen an unſer Ohr zu treffen; der Welle des Tones G müſſen wir eine Länge von $5^1/_3$ Fuß beilegen und ſo ferner; für die höchſten uns noch hörbaren Töne beträgt die Länge einer Welle $1^1/_2$ Zoll. Ebenſo könnten wir alſo auch hier von der Wellenlänge der Lichtwellen reden, wenn es uns gelingen ſollte, dieſe näher zu beſtimmen; und ſo wie dort jedem Tone eine eigene Wellenlänge zukömmt, ſo nehmen wir hier für jeden Farbenſtrahl eine eigene Wellenlänge an.

Geſetze der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes. Unerklärbarkeit der Aberration.

Dieſe Wellen breiten ſich im Aether, kugelförmige Wellenſchichten darſtellend, nach allen Seiten aus, und indem unſer Sehen ohne Zweifel darin beſteht, daß das Antreffen dieſer Lichtwellen unſre Sehnerven afficirt, ſo iſt leicht zu begreifen, daß wir den Gegenſtand in der Richtung ſehen, welche dem Mittelpunkte dieſer Wellen entſpricht. Wird die Lichtwelle nur durch eine kleine Oeffnung AB eingelaſſen (IX. Fig. 6), ſo geht ſie ſo wie die Kreiſe anzeigen fort, und die Erleuchtung findet nur da ſtatt, wohin die vom leuchtenden Punkte C durch die Oeffnung gezogenen Linien gelangen können, das

iſt, die Lichtſtrahlen CAE, CBF und ſo alle andere gehen in graden Linien fort. Man hat hiegegen den Einwurf gemacht, daß Waſſerwellen, wenn ſie durch die Oeffnung AB gehen, ſich auch ſeitwärts über EF hinaus ausbreiten, und daß, wenn dieſes bei den Lichtwellen ſtatt fände, der Schatten bei E und F nicht ſo ſtreng begrenzt ſeyn könnte; aber Sie werden in der Folge ſehen, daß die Beugung des Lichtes uns wirklich ſolche ſich mehr ausbreitende Wellen zeigt, wodurch alſo dieſer Entwurf, den ich in der Folge noch ſorgfältiger in Erwägung ziehen werde, ſeine Kraft verliert.

Die Abnahme der Erleuchtung bei größerem Abſtande von dem leuchtenden Körper muß offenbar auch hier ſtatt finden. Der Schall, mit welchem wir hier das Licht vergleichen, wird nach eben den Geſetzen ſchwächer, wie die Erleuchtung; wie die Theorie zeigt, nimmt die Erſchütterung der einzelnen Theilchen in den kugelförmigen Wellenſchichten ſo ab, daß die durch dieſe Erſchütterung hervorgebrachte Wirkung (und dieſe eben zeigt ſich uns als Erleuchtung) dem Quadrate der Abſtände umgekehrt proportional iſt. Ich muß hiebei die Bemerkung machen, die Ihnen ſchon aus der Lehre von den Wellen und vom Schalle bekannt iſt, daß dieſe Erſchütterung der Theilchen, der abwechſelnde Hin- und Zurückgang derſelben ſehr verſchieden von der Schnelligkeit der Fortpflanzung iſt; während der Schall 1000 Fuß in 1 Secunde durchläuft, beſchreibt jedes einzelne Lufttheilchen nur ſehr kleine Bahnen, und dieſe werden bei ſchwächerem Schalle kleiner, obgleich die Geſchwindigkeit der Fortpflanzung bei ſtarkem und bei ſchwachem Schalle gleich groß bleibt.

So ſcheinen alſo die Geſetze der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes ſehr vollkommen dieſer Undulationstheorie zu entſprechen. Aber die Aberration des Lichtes läßt ſich, ſelbſt nach Fresnel's Geſtändniſſe, der zu den eifrigſten Vertheidigern der Undulationstheorie gehört, aus derſelben nicht wohl erklären. Wird nämlich der vor der fortrückenden Erde liegende Aether mit ihr fortgeriſſen und wird der hinter ihr liegende Aether genöthigt, ihr zu folgen, ſo müſſen die Undulationen in ihren urſprünglichen Richtungen fortgehen oder auch völlig unterbrochen werden, und es findet keine veränderte Richtung, um die Lichtſtrahlen aufzufangen, ſtatt. Anders würde es ſeyn, wenn der Aether durch die in ihm fortgehende Erde einen freien Durchgang fände, indem dann ſeine ſchief auffallenden Wellen dieſer ſchiefen Richtung gemäß einwirken würden; aber einen ſo ungehinderten Durchgang des Aethers durch die ganze Erde, die, ihrer großen Maſſe und Dichtigkeit ungeachtet, als faſt gar kein Hinderniß für den Aether darbietend angeſehen werden müßte, kann man doch nicht wohl annehmen.

Der Unterſchied zwiſchen durchſichtigen und undurchſichtigen Körpern beſteht nach dieſer Theorie darin, daß in jenen die Vibrationen des Aethers, von welchem alle Körper durchdrungen ſind, ſich mit ungeſtörter Regelmäßigkeit, wenn gleich mit verſchiedener Schnelligkeit, fortpflanzen, in den undurchſichtigen hingegen eine Störung der regelmäßigen Undulationen ſtatt findet, wodurch dieſe wenigſtens bei weiterem Eindringen völlig vernichtet werden.

Erklärung der unregelmäßigen Zurückwerfung des Lichtes nach dieſer Theorie.

Die Zurückwerfung des Lichtes läßt ſich nach der Undulationstheorie ſehr vollſtändig erklären. Sehen wir zuerſt auf die unregelmäßig von der Oberfläche der Körper zurückgeworfenen Lichtſtrahlen, ſo iſt es vollkommen leicht begreiflich, daß die an dieſelbe antreffenden Lichtwellen eine wegen der Ungleichheit der Oberfläche unregelmäßige Zurückwerfung erleiden, daß alſo von jedem Punkte, den die Lichtwelle trifft, neue Lichtwellen nach allen Richtungen ausgehen und ſo der erleuchtete Körper ſich als ein lichtausſendender zeigt. Je mehr ſeine Oberfläche geeignet iſt, alle Lichtwellen zurückzuwerfen, deſto mehr Weiße werden wir ihm beilegen, aber kein Körper iſt vollkommen weiß, keiner giebt das Licht mit der völligen Intenſität zurück, weil bei keinem die Vibrationen ganz ungeſchwächt von der Oberfläche zurückgegeben werden. Bei farbig erſcheinenden Körpern müſſen wir annehmen, daß nur gewiſſe Lichtwellen, diejenigen nämlich, die eine beſtimmte Schnelligkeit der Vibrationen haben, zurückgeworfen werden, und dieſes ließe ſich mit der Eigenſchaft tönender Körper vergleichen, die entweder bei der Reſonanz alle Töne zurückzugeben fähig ſind, oder nur bei gewiſſen Tönen, bei denen nämlich, die eine beſtimmte Anzahl von Vibrationen in beſtimmter Zeit vollenden, zum Mittönen veranlaßt werden, — die erſtern wären den weißen Körpern, die letzteren den farbigen zu vergleichen. Sind die Körper durchſichtig und zugleich farbig, ſo muß man annehmen, daß die Theilchen des Körpers auch im Innern nur die Fortpflanzung einiger Lichtwellen, und zwar ſolcher, deren Folge beſtimmten Zeitintervallen entſpricht, geſtatten; dabei würde man den Unterſchied, daß bei einigen Körpern die übrigen Wellen an der Oberfläche zurückgeworfen werden, bei andern die übrigen Wellen im Innern völlig unwirkſam werden, zugeſtehen müſſen; jene nämlich wären die, welche bei der Zurückwerfung des Lichtes die Ergänzungsfarbe zu der Farbe des durchgelaſſenen Lichtes zeigen, dieſe hingegen zeigen unter beiden Umſtänden einerlei Farbe.

Ich habe bei dieſen Erklärungen die Anſicht ſo gefaßt, als ob die gröberen materiellen Theilchen der Körper einen weſentlichen Einfluß auf die Durchlaſſung oder Zurückwerfung des Lichtes hätten, ſtatt daß nach der Meinung der ſcharfſinnigſten Vertheidiger dieſes Syſtemes nur der in jedem Körper enthaltene Aether es iſt, dem wir die Fortpflanzung der Vibrationen zuſchreiben müſſen; aber es ſcheint, als ob man bei den Farbenerſcheinungen nicht ganz auskommt, wenn man nicht den Körpertheilchen einige Einwirkung geſtattet, wenn gleich die Theoreme, die ſich ganz auf die Fortpflanzung im Aether gründen, durch ihre mathematiſche Begründung dieſem Syſteme am meiſten Beifall erworben haben. Ich gehe jetzt zur Darſtellung einiger dieſer Lehrſätze über.

Gleichzeitige Entſtehung zurückgeworfener und eindringender Lichtwellen.

Jener Aether, deſſen Wellen uns die Empfindung des Lichtes gewähren, iſt durch alle Körper verbreitet; aber er iſt weniger elaſtiſch in den dichteren Körpern. Daß dieſe ungleiche Elaſticität ſich nicht genau nach der ſpecifiſchen Schwere der Körper richtet, ſondern auch noch auf andern Eigenſchaften beruht, unter denen die Brennbarkeit eine der merkwürdigſten iſt, läßt ſich wohl erwarten, indem auch hier eigenthümliche Verwandtſchaften, die ſich uns in der ungleichen Brechung des Lichtes offenbaren, ſtatt finden mögen. An dieſe Vorausſetzung, daß der Aether in den dichteren Körpern weniger Elaſticität beſitze, ſchließen ſich nun mehrere merkwürdige Folgerungen. Die theoretiſche Unterſuchung nämlich zeigt, daß eine Aetherwelle, an die Grenze jenes minder elaſtiſchen Aethers antreffend, ſich in zwei Wellen zerlegt, deren eine mit eben der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit[1] wieder zurückgeht oder zurückgeworfen wird, die andre aber mit verminderter Fortpflanzungsgeſchwindigkeit in den weniger elaſtiſchen Aether eintritt. Poiſſon's mathematiſch durchgeführte Unterſuchung zeigt, daß es auch beim Schalle ſo ſeyn muß, wenn er aus einem elaſtiſchen Mittel in ein andres weniger elaſtiſches übergeht. Er zeigt, daß die Stärke des zurückgeworfenen Lichtes (das heißt hier, die Vibrationsgeſchwindigkeit der Aethertheilchen in der zurückgehenden Welle) deſto größer iſt, je mehr das Licht in dem Körper, in welchen es zum Theil übergeht, gebrochen wird, je weniger elaſtiſch der Aether in demſelben iſt. Nach Poiſſon's Berechnung muß bei ſenkrecht auffallenden Strahlen, wenn ſie aus dem leeren Raume oder aus der Luft auf Waſſer fallen, nur $^1/_{49}$, wenn ſie auf Glas fallen, $^1/_{19}$ bis $^1/_{16}$, wenn ſie auf Diamant fallen, ein ganzes Sechstel reflectirt werden; die Erfahrung beſtätigt dieſe große Ungleichheit. Es erhellt hier auch, daß da, wo der Lichtſtrahl aus dem dichtern Körper in den dünnern übergeht, eine Zurückwerfung an der Trennungsfläche ſtatt finden muß, indem auch da, wo die Vibration wieder in den mehr Elaſticität beſitzenden Aether übergeht, eine nur wenig ſchwächere zurückgehende Welle entſteht; die Vertheidiger dieſer Theorie finden hierin nicht mit Unrecht einen Vorzug derſelben vor der Emiſſionstheorie, indem hier die Durchlaſſung und Zurückwerfung des Lichtſtrahles ohne eine neue Hypotheſe, ohne ungleiche wechſelnde Zuſtände der Lichttheilchen und ohne eine zurückſtoßende Kraft an der Oberfläche, erklärt wird. Aber auch der Weg des zurückgeworfenen und des gebrochenen Strahles wird nach dieſer Theorie richtig beſtimmt.

[1] Ich habe wohl kaum nöthig, noch einmal zu bemerken, daß ich unter Fortpflanzungsgeſchwindigkeit diejenige verſtehe, welche dem entſpricht, was wir beim Schalle Geſchwindigkeit des Schalles nennen, unter Vibrationsgeſchwindigkeit aber die Schnelligkeit der in ſehr kleinen Räumen hin- und hergehenden Theilchen, alſo diejenige, worauf die Stärke des Schalles oder Lichtes beruht, endlich unter Schnelligkeit der Folge der Vibrationen die Zwiſchenzeit zwiſchen zwei gleichen Vibrationszuſtänden, worauf beim Schalle die Tonhöhe beruht. Für das Licht iſt die erſtere ungleich in verſchiedenen, das Licht ungleich brechenden Stoffen, die zweite ungleich bei verſchiedener Intenſität des Lichts, die dritte ungleich bei verſchiedenen Farben.

Geſetze der Spiegelung.

Es ſcheint beim erſten Anblicke, als ob die Undulationstheorie die Reflexion an Spiegeln nicht erkläre, indem ja die von A ausgehenden Wellen in allen Punkten der Ebne BD (IX. Fig. 7) gleich gut neue Wellen erregen müſſen; aber eine genaue Betrachtung hebt dieſen Zweifel. Gewiß iſt es freilich, daß die in B antreffende Wellenfolge eine eben ſolche Wellenfolge, deren Mittelpunkt B iſt, erregt, daß die an E treffende Wellenfolge eine eben ſolche um E erregt und ſo um F, G und jeden andern Punkt; aber die vereinigte Wirkung dieſer Wellen iſt gleichwohl den Geſetzen der Spiegelung genau entſprechend. Wenn die um den Mittelpunkt A gezeichneten Kreiſe die einzelnen von A ausgegangenen Wellen für einen gewiſſen Zeitpunkt bezeichnen, ſo erhellt, daß, indem die ſechste an E antrifft, die fünfte ſchon eine erſte von B zurückgehende Welle hervorgebracht hat, daß, indem die ſiebente an F antrifft, ſchon eine zweite zurückgehende a von B, eine erſte zurückgehende b von E ausgegangen iſt, daß, indem die achte an G anſtößt, ſchon eine dritte E2 von B, eine zweite c von E, eine erſte d von F zurückgehend ausgegangen iſt. Ein Auge alſo, welches ſich in dem Momente, da die achte Welle an G anſtößt, in k befindet, erhält zugleich den Eindruck der von E kommenden zweiten, der von F kommenden erſten zurückgehenden Welle, und dieſer Eindruck iſt aus der Wirkung beider Wellen zuſammengeſetzt; ein Auge in l erhält den vereinigten Eindruck der erſten von F ausgehenden Welle und einer noch nicht um eine ganze Wellenbreite vorgeſchrittenen, von d ausgegangenen Welle. Dieſer gemeinſchaftliche Eindruck iſt aber, wie ſich genau und vollſtändig zeigen läßt, eben der, welchen die Welle 2kG hervorbringen würde, die alle von B, a, E, b, F, d ausgegangenen Wellen, ſo wie ſie in dieſem Momente jede in ihrem Fortſchreiten angekommen ſind, berührt; — dieſe Berührungswelle und ihr Fortſchreiten müſſen wir alſo hier betrachten; ſie iſt es, welche die Wirkung aller benachbarten, das Auge k afficirenden und die Wirkung aller benachbarten, das Auge l afficirenden Wellen gleichſam in ſich ſchließt, indem ſie mit den in einander verlaufenden, ſich unter ſehr kleinen ſpitzigen Winkeln ſchneidenden Wellen in jedem ihrer Punkte einerlei iſt. Die größere Welle LD, die gleichſam aus den um B, um a, um E, um F, um G, um H gezeichneten Kreisbogen (welche die Figur zeigt) zuſammengeſetzt iſt, läßt dieß noch deutlicher überſehen. Dieſe Wellen, die der gleichzeitigen Wirkung aller von BD zurückgeworfenen Wellen entſprechen, ſind Kreiſe, die in P ihren Mittelpunkt haben, ſie pflanzen ſich ſo fort, wie es Wellen von P ausgehend thun würden; P aber liegt in der Senkrechten BA ebenſo weit hinter BD, als A vor derſelben liegt, und ein Auge in k oder M hat folglich eben die Empfindung, als ob die Lichtwellen von P ausgingen, das iſt, es ſieht den Gegenſtand im Spiegel ebenſo weit hinter dem Spiegel, als er wirklich vor demſelben liegt.

Dieſe Erklärung der Geſetze der Spiegelung iſt wohl ſo genügend, daß ſie nichts zu wünſchen übrig läßt, und es verſteht ſich von ſelbſt, daß an ſie

ſich die Erklärung aller der einzelnen Erſcheinungen knüpft, die bei Brennſpiegeln u. ſ. w. vorkommen. Was die Vereinigung der Wirkung unzähliger im Brennpunkte zuſammentreffender Wellen betrifft, ſo hat man den Zweifel geäußert, ob nicht dieſe Wellen zum Theil ſich gegenſeitig zerſtören und dadurch ihre Wirkung vermindern müßten. Dieſer Einwurf findet gegen die Emiſſionstheorie ebenſo gut Anwendung, indem, wenn dort die im Brennpunkte an einander treffenden Lichttheilchen ſich gegenſeitig von ihren Bahnen ablenken, ebenſo gut eine Schwächung der durch den Brennpunkt gegangenen Lichtſtrahlen ſtatt finden muß, als hier, wenn die Wellen gegenſeitig ihren Fortgang ſtören. Dieſer Zweifel läßt ſich von der einen Seite durch die Bemerkung, daß die Lichttheilchen in großen Entfernungen von einander ihre Bahnen durchlaufen können, von der andern Seite durch die theoretiſch und empiriſch beſtätigte Bemerkung, daß die Wellen ſich ohne merkliche Störung durchkreuzen können, widerlegen; aber merkwürdig bleibt es, daß Kater wirklich eine geringere Erleuchtung vermittelſt der durch den Brennpunkt gegangenen Strahlen gefunden zu haben meint. Es iſt nämlich offenbar, daß die nach der Vereinigung im Brennpunkte aufgefangenen Strahlen, wenn man ſie in beſtimmter Entfernung hinter dem Brennpunkte auffängt, ebenſo ſtark erleuchten ſollten, als ſie es in gleicher Entfernung vor dem Brennpunkte, ehe ſie vereinigt wurden, thaten; nach Kater findet man aber jene Erleuchtung ſchwächer.

Geſetze der Brechung.

Ich komme nun zu der Erklärung der Brechung, die bis auf einen gewiſſen Punkt auch keine Schwierigkeit findet, allerdings aber in Beziehung auf die Farbenzerſtreuung ſich nicht füglich auf eine in die Undulationstheorie paſſende Weiſe durchführen läßt. Dieſe Schwierigkeit wollen wir zuerſt noch aus den Augen laſſen.

Die Undulationstheorie fängt ihre Erklärung der Brechung mit der ſchon angeführten Bemerkung an, daß der Aether zwar in allen Körpern vorhanden iſt, aber nicht in allen gleiche ſpecifiſche Elaſticität beſitzt. Dieſe iſt geringer in den Körpern, die das Licht ſtärker brechen, und da an den Grenzen zweier Körper offenbar die abſolute Elaſticität des Aethers oder der von ihm ausgeübte Druck gleich ſeyn muß, indem er ſonſt aus dem einen in den andern hinübergehen würde, ſo muß der Aether in den dichteren Körpern dichter bei gleicher Spannkraft ſeyn, und das eben iſt es, was wir geringere ſpecifiſche Elaſticität (geringere Elaſticität bei gleicher Dichtigkeit) nennen. Das Licht pflanzt ſich alſo in den dichteren oder einen dichteren Aether enthaltenden Körpern langſamer fort, ſo wie der Schall ſich in kohlenſaurer Luft langſamer als in Waſſerſtoffgas fortpflanzt. Es ſcheint auffallend, daß die beiden Theorieen in einem ſo wichtigen Punkte uneinig ſind, indem die eine dem Lichte eine ſchnellere Fortpflanzung in den ſtärker brechenden Körpern beilegt, die andre eine langſamere; gleichwohl iſt dieſer Gegenſatz ganz folgerecht in der Natur dieſer Theorieen begründet, und es läßt ſich durch keine der bis jetzt

erklärten Erſcheinungen eine Entſcheidung für die eine oder die andre Anſicht finden. Jener Vorausſetzung gemäß alſo nehmen wir an, daß die in den ſtärker brechenden Körper eintretende Lichtwelle innerhalb deſſelben langſamer als vor dem Eintritte fortſchreite, und wollen nun ſehen, wie ſich der geſammte Eindruck der eingetretenen Lichtwellen zeigen wird. Um die Folgerungen leichter zu überſehen, nehme ich die Lichtwellen als von einem ſehr entfernten Punkte kommend an, damit die kleinen Theile derſelben AB, CD, EF, GH (IX. Fig. 8) als grade Linien oder unmerklich gekrümmte Bogen ſehr großer Kreiſe angeſehen werden können. Dieſe Wellen treffen an die Grenzfläche eines Körpers an, in welchem ſie, wenn wir das Glas als Beiſpiel nehmen, nur zwei Drittel ihrer vorigen Schnelligkeit behalten, und die in A antreffende Welle hat ſich daher innerhalb nur bis R fortgepflanzt, während ſie außerhalb bis CD gelangt iſt, ſie hat ſich ferner nur bis S oder T fortgepflanzt, während ſie außerhalb bis EF oder GH gelangt iſt, und es läßt ſich daher leicht überſehen, daß RC, SE, TG die im Innern fortgehenden Wellen darſtellen. Da wir nun unter der Richtung des Lichtſtrahles die auf die Wellenzüge ſenkrechte Richtung oder diejenige, nach welcher die Wellen fortrücken, verſtehen, ſo iſt UA die Richtung des einfallenden, AV die Richtung des gebrochenen Strahles, und es iſt $VW = \frac{2}{3} UX$, wenn $AU = AV$ und $AT = \frac{2}{3} GZ$ iſt. Alſo wenn die Beſchaffenheit des zweiten Körpers es mit ſich bringt, daß die Geſchwindigkeit des Lichtes auf zwei Drittel vermindert wird, ſo iſt der Sinus des gebrochenen Winkels gleich zwei Dritteln vom Sinus des Einfallswinkels, und das Geſetz der Brechung, daß dieſes Brechungsverhältniß gleich bleibt bei allen Einfallswinkeln, iſt eine Folgerung, die aus den Geſetzen der Undulationstheorie hervorgeht.

Eine Schwierigkeit ſcheint dagegen die Undulationstheorie in Beziehung auf die vollkommene Zurückwerfung des Lichtſtrahles an der Hinterfläche eines dichteren, das Licht ſtärker brechenden Körpers darzubieten. Sie wiſſen, daß dieſe da entſteht, wo gar kein Theil des Lichtſtrahles hervordringend in den minder dichten Körper übergeht, und es ſcheint nicht wohl möglich, anzunehmen, daß die Undulationen ſich hier durchaus nicht in jene minder dichten Aetherſchichten hinüber fortpflanzen ſollten. Poiſſon löſt dieſen Zweifel ſehr richtig durch die Bemerkung, daß auch die Theorie allerdings die Meinung von einem Entſtehen von Undulationen in jenen Aetherſchichten beſtätige, aber zugleich zeige, daß dieſe Lichtwellen von einer ſolchen Schwäche ſind, daß ſie bei ihrer Verbreitung durchaus unmerklich werden. Der Umſtand dagegen, daß da, wo zwei das Licht genau gleich brechende Körper ſich berühren, auch keine Zurückwerfung ſtatt findet, erklärt ſich hier ohne Schwierigkeit, da die gleiche Brechung eine gleiche Elaſticität des Aethers in beiden Körpern beweiſt und dieſe Gleichheit bei aller übrigen Verſchiedenheit ausreicht, um die Körper als ganz gleich in Beziehung auf das Licht anzuſehen. Finden alſo hier, wie Brewſter angiebt, doch noch kleine Verſchiedenheiten in Hinſicht auf die zuweilen nicht gänzlich verſchwindende Zurückwerfung bei gänzlich verſchwindender Brechung ſtatt, ſo müßte dieſer Umſtand noch beſonders erklärt werden.

Unzulänglichkeit dieſer Theorie für die ungleiche Brechung der ungleichfarbigen Strahlen.

Aber nun bietet ſich eine wichtige Schwierigkeit dar, zu deren Wegräumung die Undulationstheorie kein Mittel anzugeben ſcheint. Es erhellt nämlich aus den eben durchgeführten Betrachtungen, daß die Größe der Brechung ganz allein von der Schnelligkeit der Fortpflanzung der Lichtwellen in den an einander grenzenden Materien abhängt, dieſe Schnelligkeit aber durch die Dichtigkeit des Aethers beſtimmt iſt; da nun doch gewiß keine verſchiedenen Aetherarten in einem und demſelben Raume angenommen werden können, ſo müſſen auch in dem zweiten Körper alle Lichtwellen eine gleiche Geſchwindigkeit und folglich auch eine gleiche Brechung haben; eine Zerſtreuung der Farbenſtrahlen, eine ungleiche Brechbarkeit des verſchiedenfarbigen Lichtes ſcheint nicht ſtatt finden zu können. Da gleichwohl die Erfahrung dieſe ungleiche Brechung zeigt, ſo müſſen wir etwas genauer die Verſchiedenheit der Umſtände bei den verſchiedenen Farben erwägen, um zu ſehen, wo etwa eine Erklärung dieſer Erſcheinung im Sinne der Undulationstheorie geſucht werden könnte. Nach dieſer Theorie iſt die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit für alle Farben gleich, aber da die Wellen des violetten Lichtes [1] ſchneller auf einander folgen oder einen geringern Zwiſchenraum zwiſchen den in gleichem Zuſtande befindlichen Theilchen darbieten, ſo müßte die Theorie einen Grund angeben, warum dieſe kürzeren Wellen mehr gebrochen werden. Euler hatte die Meinung geäußert, dieß ſey deswegen der Fall, weil jede folgende mehr als bei längern Wellen auf die Bewegung der Theilchen einwirke; aber Poiſſon macht die richtige Bemerkung, daß dieſe Einwirkung in einer verminderten Abnahme der Geſchwindigkeit beſtehen müßte, daß nämlich die violetten Strahlen ſich nach dem Eintritte in den dichteren Körper ſchneller als die rothen bewegen, eben darum alſo auch jene weniger, dieſe mehr gebrochen werden müßten, welches gerade das Gegentheil deſſen iſt, was wir aus Erfaheung wiſſen. Poiſſon, der unter den Vertheidigern der Undulationstheorie am allerſtrengſten ſich an die ſicher begründeten theoretiſchen Schlüſſe gehalten hat, geſteht, daß bis jetzt dieſe Schwierigkeit nicht gehoben werden könne, daß man indeß in einer ſo ſchwierigen Unterſuchung, ohne die Rechnung ganz durchzuführen, nicht den Erfolg aller Umſtände nach einer ungefähren Vorausſicht angeben könne, und daß es daher ungewiß ſey, ob vielleicht ein ſolcher Einfluß der ſchneller einander folgenden Wellen, ſo wie die Erfahrung ihn anzudeuten ſcheine, da ſtatt finden könne, wo die Wirkungsſphäre der Kräfte, welche die Elaſticität des Aethers beſtimmt, ſich weiter als bis auf eine Wellenlänge erſtreckt. Doch von dieſer vielleicht möglichen, aber höchſt ſchwierigen Beſtimmung, ob die reine Undulationstheorie bei dieſer Frage ausreiche, kann ich hier keinen genauern Begriff geben. Young und Fresnel ſuchen die Schwierigkeit auf eine andre Weiſe

[1] Es iſt wohl kein Fehler ſo zu ſprechen, obgleich es nicht ſo gemeint iſt, daß dieſe Wellen ein violettes Fluidum, verſchieden von den rothen Wellen, ſind.

zu heben, die ich früher ſchon angedeutet habe und der ich hier noch eine kleine Einleitung voranſchicken muß.

Nach den hier durchgeführten Betrachtungen beruht die reine Undulations-theorie auf einer Unterſuchung der Undulation in den an einander grenzenden Aetherſchichten von ungleicher Dichtigkeit; dieſe Unterſuchung läßt ſich, ganz entſprechend den acuſtiſchen Theorieen, in ſtreng mathematiſcher Form durch-führen, und ſo lange man dabei ſtehen bleibt, iſt der Ruhm, den Fresnel der Undulationstheorie beilegt, daß ſie einer ſtrengen mathematiſchen Ent-wickelung fähig ſey und nichts Willkührliches beigemiſcht enthalte, ſehr wohl begründet. Aber wenn man bei ihr ſtehen bleibt, ſo muß man auch die hier nicht wegzuräumende Schwierigkeit offen anerkennen, wie Poiſſon es thut, und nicht zu einem andern Hülfsmittel ſeine Zuflucht nehmen, welches gleich-wohl Young und Fresnel gethan haben. Sie machen nämlich bemerklich, daß durch die Lichtwellen auch wohl die gröberen materiellen Theilchen der Körper in Vibration geſetzt werden und daß dieſe die Aetherwellen im Innern des Körpers modificiren könnten. Daß dieß möglich ſey, bin ich nicht geneigt ganz zu leugnen; aber indem wir eine ſolche Einmiſchung andrer Vibrationen annehmen, geben wir es auf, die theoretiſche Strenge der Undulationstheorie aufrecht zu erhalten, und ſetzen uns eben dem Vorwurfe aus, den Fresnel ſo oft der Newton'ſchen Theorie macht, zu jeder neuen Erſcheinung neue, nicht in der Grundhypotheſe ſchon liegende Vorausſetzungen zu Hülfe zu nehmen. Daß übrigens dieſer Einfluß der materiellen Theilchen vielleicht ein ſehr mannigfaltiger und grade ſo ſeyn kann, wie die verſchiedene Brechung der einzelnen Farbenſtrahlen ihn fordert, das läßt ſich weder beweiſen noch leugnen. Die ungleiche Farbenzerſtreuung, welche darin beſteht, daß nicht im ſtrengſten Sinne ein gewiſſer Farbenſtrahl eine genau gleiche Stelle im Farbenbilde einnimmt, iſt offenbar ein Umſtand, der die Schwierigkeit noch vergrößert.

Rückblick auf die Schwierigkeiten bei beiden Theorieen.

Indeß wie wir auch über dieſe Verſuche, eine ſo höchſt wichtige Erſcheinung zu erklären, denken mögen, ſo iſt doch ſchon in dem Bisherigen recht vieles zur Empfehlung der Undulationstheorie enthalten, und da wir bald auf Erſcheinungen kommen, die ſie höchſt glücklich erklärt, ſo iſt es wohl der Mühe werth, die ganze Vorſtellung, die ſie von den Lichtphänomenen giebt, noch genauer zu entwickeln. Aetherwellen ſind es, die in unendlich ſchneller Folge hinter einander kommend unſer Auge rühren. Jede dieſer Wellen entſteht ſo, wie die Schallwellen in der Luft, durch eine abwechſelnde Verdünnung und Verdichtung des Aethers, und wir dürfen daher von einem verdünnten und von einem verdichteten Wellentheile reden, die zuſammen eine ganze Welle, eine Wellenlänge ausmachen; dieſe Verdünnungen und Verdichtungen ſind mit einem Vibriren der Aethertheilchen ſelbſt, die ihre Stelle nur höchſt wenig ändern, verbunden; aber jener Wechſel der Dichtigkeiten theilt ſich von einem

Theilchen zum andern mit, und zwar mit der Ihnen ſchon bekannten großen Geſchwindigkeit, die das Licht beſitzt. Wo zwei Lichtwellen ſich verſtärkend zuſammentreffen, da nimmt die Erleuchtung zu, und wir haben in den bisher angeführten Erſcheinungen keinen Grund gefunden, zu fragen, ob es denn ein andres, als ein ſich verſtärkendes Zuſammentreffen geben könne.

Dieſe Vorſtellung von Lichtwellen würde vollkommen einfach ſeyn, wenn nicht die Mannigfaltigkeit der Farben ſie viel verwickelter machte. Denken wir uns die Lichtwellen, die unſerm Auge die Empfindung des äußerſten Roth im prismatiſchen Sonnenbilde gewähren, ſo müſſen wir dieſen eine gewiſſe Wellenlänge beilegen, und wo nur dieſes Licht hervorgeht, da folgen ſich gleichmäßig alle Wellen in gleichem Abſtande. Aber dieſer Abſtand iſt ein anderer bei den Wellen des gelben Lichtes, bei denen des grünen, des blauen, des violetten, und da, wie ich früher überzeugend gezeigt zu haben hoffe, es eine unendliche Mannigfaltigkeit ungleich brechender Strahlen giebt, da zwiſchen dem äußerſten Roth und dem äußerſten Violett im Sonnenſtrahle faſt alle Abſtufungen von Brechbarkeit in wenig unterbrochener Reihenfolge vorkommen, ſo muß es eine unzählig mannigfaltige Reihenfolge verſchiedener Wellen geben, die alle eine gleiche Fortpflanzungsgeſchwindigkeit haben, aber an Länge oder in Hinſicht des Abſtandes der in gleichem Verdichtungs- und Verdünnungszuſtande befindlichen Aethertheilchen in einer ganzen Reihe von Abſtufungen von einander verſchieden ſind. Alle dieſe Wellenarten kommen alſo im Sonnenlichte zu uns, und indem ſie alle zugleich unſer Auge rühren, haben wir die Empfindung des Weiß; alle dieſe Wellenarten dringen mit Beibehaltung ihrer ganzen Mannigfaltigkeit durch die ungefärbten durchſichtigen Körper, ſtatt daß die farbigen durchſichtigen Körper nur einige dieſer Wellenarten, nur die, welche in gewiſſen beſtimmten Wellenlängen einander folgen, durchlaſſen. Bei der Brechung nimmt jede dieſer Wellenarten eine andre Richtung an, und jeder im ſtrengſten Sinne keiner weiteren Zerſtreuung fähige Farbenſtrahl enthält nur *eine* Art von Wellenfolge. — Gewiß iſt dieſe Vorſtellung von ſo mannigfaltigen Wellenarten, die jede in eben der Richtung ihre Bewegung regelmäßig fortſetzen und deren keine die andre ſtört, ſchon etwas ſchwer zu faſſendes, und doch müſſen wir, um die wunderbaren Erſcheinungen des Lichtes zu verſtehen, noch größere Verwickelungen zugeſtehen.

Dieſe Verwickelung könnte uns geneigt machen, wieder zu der Emiſſionstheorie zurückzukehren; aber auch dort iſt die Verwickelung nicht geringer. Es iſt allerdings leichter, denjenigen Lichttheilchen, die ſich durch verſchiedene Brechbarkeit unterſcheiden, eine Mannigfaltigkeit der Geſtalt oder Größe, und dieſe Mannigfaltigkeit in tauſend Abſtufungen, nach dem Geſetze der Stetigkeit einander folgend, beizulegen; wir können uns dieſe tauſendfach verſchiedenen Theilchen in eben dem Sonnenſtrahl, als zugleich oder neben oder hinter einander ankommend, vereinigt denken und annehmen, daß bei der Brechung jede Art der Theilchen ihren eignen Weg nehme; aber da wir genöthigt ſind, jedem dieſer mannigfaltigen Theilchen ungleiche Zuſtände beizulegen, da wir

endlich ſogar Fälle kennen lernen werden, wo das Zuſammentreffen von Lichtſtrahlen die Erleuchtung zerſtört, anſtatt ſie zu verſtärken, ſo müſſen wir wohl bekennen, daß auch dieſe Theorie keineswegs genügende Aufſchlüſſe über alle Erſcheinungen giebt.

Einundvierzigſte Vorleſung.

Die Farben dünner Blättchen.

Als ich neulich Newton's Behauptung, daß man ſich die Lichttheilchen als einem wechſelnden Zuſtand leichter Zurückwerfung und leichten Durchganges beim Antreffen an eine Trennungsfläche zweier durchſichtigen Körper unterworfen denken müſſe, erwähnte, mußte Ihnen, fürchte ich, dieſer Gedanke als allzuwenig begründet erſcheinen; ich eile daher, Sie mit einer höchſt merkwürdigen Erſcheinung bekannt zu machen, die beinahe gradezu auf dieſe Anſicht führt und die, wenn ſie gleich noch eine andre Erklärung geſtattet, doch Newton gewiß wegen jener Vorausſetzung vollſtändig rechtfertigt.

Dieſe Erſcheinung ſtellt ſich uns in den Farben durchſichtiger und ſehr dünner Körper, wenn ſie vom Tages- oder Sonnenlichte getroffen werden, dar; eine Erſcheinung, die ebenſo ſehr durch die Schönheit ihrer Farben, als durch die auffallende Eigenthümlichkeit, daß ſie aus farbenloſen Körpern und überdieß mit ungleichen Farben nach Maßgabe der Dicke der Schichten hervorgeht, die Aufmerkſamkeit ſelbſt des gewöhnlichen Beobachters auf ſich zieht. Sie iſt Ihnen an den Seifenblaſen, ja an jedem dünnern Bläschen, das in dem Schaume irgend einer Flüſſigkeit hervortritt, bekannt, und noch ſchöner können Sie dieſelbe in folgendem Experimente hervorbringen. Stellen Sie ein Gefäß mit reinem Waſſer ſo, daß Sie den hellen Himmel, er ſey nun heiter oder bewölkt, geſpiegelt im Waſſer ſehen, und bringen Sie dann einen kleinen Tropfen Terpentinöl oder ein andres Oel, das ſich leicht auf dem Waſſer ausbreitet, auf das Waſſer, ſo ſehen Sie dieſen Tropfen, die lebhafteſten, ſchönſten Farben gebend, ſich verbreiten. Der Tropfen muß klein ſeyn, etwa mit einem Metalldrahte aus dem Gefäße mit Terpentinöl hervorgehoben, damit bei recht dünner Verbreitung des Tropfens deſto ſchönere Farben hervorgehen.

Newton's Farbenringe.

Aber um dieſe einfachen Verſuche recht zu verſtehen, müſſen wir etwas künſtlichere anſtellen, bei welchen das Maß der Dicke dieſer farbloſen und dennoch Farben zeigenden Schichten angegeben werden kann; und hier iſt es wieder Newton, der dieſe Verſuche zuerſt und mit großer Genauigkeit angeſtellt, der eben dadurch die Regeln, nach welchen ſich dieſe Farben zeigen, vollſtändig

entdeckt hat. Er bemerkte dieſelben da, wo zwiſchen zwei Gläſern ein ſehr kleiner Zwiſchenraum, alſo eine dünne Luftſchicht, enthalten iſt, und dieſes veranlaßte ihn, ein nach einem ſehr großen Halbmeſſer geſchliffenes Linſenglas auf ein völlig ebnes Glas zu legen, um die ſich zeigenden Farben zu beobachten. Die Farben erſcheinen hier in regelmäßigen Ringen, die den Mittelpunkt, wo beide Gläſer ſich berühren, als concentriſche Kreiſe umgeben; iſt das obere Glas nur wenig gegen das untere gedrückt, ſo zeigt ſich irgend eine Farbe in der Mitte, die von andern Farbenringen umgeben iſt; verſtärkt man dann den Druck, ſo daß der Abſtand der Gläſer von einander etwas geringer wird, ſo breitet ſich jene den Mittelpunkt einnehmende Farbe in einen Ring aus, den die vorigen Ringe, nun einen etwas größern Durchmeſſer annehmend, umgeben, und eine neue Farbe nimmt die Mitte ein; bei noch mehr verſtärktem Drucke geht wieder die Farbe des Mittelpunkts in einen neuen Ring über, und ſo entſtehen nach und nach bei verſtärktem Drucke mehr Ringe, bis endlich in der Mitte die innige Berührung beider Gläſer erreicht und ein dunkler Fleck entſtanden iſt, und dann iſt die Folge der Farbenringe allemal völlig gleich. An den ſchwarzen Fleck, der die Mitte einnimmt, grenzt ein ſchmaler violetter und blauer Ring, der von einem weißen Ringe, wie dieſer wieder von einem gelben und einem rothen umſchloſſen iſt; dieſer Farbenfolge ſchließt eine zweite von ſehr hellen Farben ſich an, deren Ordnung von der Mitte her gerechnet Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth iſt; eine dritte Farbenfolge zeigt ein etwas röthlicheres Violett, Blau, ſchönes Grün und Gelb, endlich ein zum Purpur hinneigendes Roth; die Ringe der vierten Farbenfolge ſind nur grün und roth, doch bemerkt man an der innern Seite des Grün noch ein Hinneigen zum Blau, an der äußern Seite ein Hinneigen zum Gelb; dieſelben Farben wiederholen ſich in der fünften und ſechsten Farbenfolge, aber immer matter, und endlich gehen die Farben in Weiß über. Man ſieht dieſe Ringe recht ſchön nur bei einem großen Linſenglaſe, deſſen auf dem andern Glaſe liegende Wölbung nach einem ſehr großen Halbmeſſer geſchliffen iſt, weil da die Abſtände beider Gläſer, worauf es hier ankommt, nur ſehr langſam zunehmen; aber auch bei kleinern Linſen, etwa bei einem Brennglaſe von 3 oder 4 Zoll Durchmeſſer, deſſen Brennweite 1 bis 2 Fuß iſt, bemerkt man beim feſten Andrücken gegen ein zweites Glas einen Fleck, der, wenn man ihn mit einem einfachen Vergrößerungsglaſe betrachtet, mit eben jenen Ringen umgeben iſt. Was aber nun jenen Newton'ſchen Verſuch ſo höchſt merkwürdig macht, iſt, daß die Farben immer gleichmäßig da hervorgehen, wo der Zwiſchenraum zwiſchen den Gläſern gleich iſt, ſo daß man für Linſen von verſchiedenen Halbmeſſern, die man auf ebne Gläſer legt, bei Berechnung des Abſtandes, der in irgend einer Entfernung vom Mittelpunkte ſtatt findet, genau einerlei Farbe da findet, wo der Zwiſchenraum zwiſchen den ſich in der Mitte genau berührenden Gläſern gleich iſt. Dieſe Gleichheit der Farbe gilt indeß nur dann, wenn das Auge ſo ſteht, daß es in einer gleichen und wenig von der ſenkrechten abweichenden Richtung die zurückgeworfenen Strahlen empfängt; denn bei einer veränderten

Stellung des Auges ändern ſich die Farben, ſo daß die Ringe der zweiten, dritten Farbenfolge immer deſto größere Durchmeſſer erhalten oder deſto weiteren Abſtänden der Gläſer von einander entſprechen, je mehr das Auge ſich von der gegen die dünne Luftſchicht ſenkrechten Lage entfernt.

Ich brauche Ihnen nicht umſtändlich zu zeigen, wie (IX. Fig. 9) die Abſtände ab, cd zwiſchen der ebnen und der gewölbten Glasoberfläche in beſtimmten Entfernungen von der Mitte berechnet werden, Sie werden aber leicht überſehen, daß Newton durch Abmeſſung der Halbmeſſer der Ringe zu der Beſtimmung gelangen konnte, daß die hellſten Farben bei ſenkrechter Richtung zum erſten, zweiten, dritten Male da hervorgingen, wo die Dicke der Luftſchicht $^{1}/_{178000}$, $^{3}/_{178000}$, $^{5}/_{178000}$ engl. Zoll betrug, und dieſe Entfernungen, die wir ſpäter noch durch andre Verſuche näher kennen lernen werden, ſtehen alſo in einer weſentlichen Beziehung mit dem Entſtehen dieſer Ringe.

Aber die hier angegebenen, durch Zurückwerfung des Lichtes ſichtbar werdenden Farben ſind nicht die einzigen, welche ſich hier beobachten laſſen; ſondern wenn man das Auge auf die entgegengeſetzte Seite der Gläſer bringt, ſo bemerkt man ebenfalls Ringe, die in dem durchgelaſſenen Lichte kenntlich ſind, und — was beſonders merkwürdig iſt — in dieſen iſt an jeder einzelnen Stelle die Ergänzungsfarbe zu derjenigen Farbe zu ſehen, die man an eben der Stelle durch die zurückgeworfenen Strahlen erblickte, das heißt, dem an der einen Seite durch reflectirtes Licht geſehenen rothen Ringe entſpricht, wenn man das Auge an die entgegengeſetzte Seite bringt, ein ebenſo großer grüner Ring, ſo daß man mit Recht ſagen kann, da, wo das rothe Licht reflectirt iſt, findet ſich das grüne Licht eben deshalb im durchgelaſſenen Lichte im Uebermaße, nämlich wegen der Ausſcheidung des rothen Lichtes. Die Ringe, die dem durchgelaſſenen Lichte ihren Urſprung verdanken, ſind minder lebhaft, als die durch zurückgeworfenes Licht entſtehenden; dieß hat darin ſeinen Grund, weil viel weißes Licht durchgelaſſen wird und daher die ſich mit dem weißen Lichte miſchenden Farben nur matt aus dem weißen Lichte hervortreten, ſtatt daß an der andern Seite die Farbenſtrahlen ganz ohne Beimiſchung weißen Lichtes kenntlicher ſich zeigen.

Der ältere Herſchel hat mit großem Fleiße dieſe Verſuche wiederholt und ſich Mühe gegeben, theils nachzuweiſen, welche Oberflächen der Gläſer es eigentlich ſind, auf die es hier ankömmt, theils auch die vermöge der durchgelaſſenen Strahlen entſtehenden Ringe bequem und mit den durch zurückgeworfene Strahlen hervorgehenden zugleich zu ſehen. In Beziehung auf das erſtere wandte er als Unterlage einen ebnen Metallſpiegel an und gebrauchte Linſen, die feine Riſſe an der Oberfläche hatten u. ſ. w.; alle Verſuche überzeugten ihn, daß nur die beiden an der dünnen Luftſchicht liegenden Oberflächen zur Hervorbringung der Ringe beitragen, die ſich auch, wenn die Linſe auf dem Metallſpiegel lag, zeigten. Um aber beide Arten von Ringen zu ſehen, legte er die Linſen auf einen ebnen, hinten belegten Glasſpiegel AB

(IX. Fig. 10); dann ſieht das Auge O erſtlich die von a ausgegangenen reflectirten Farbenſtrahlen, zweitens aber die als farbig bei a durchgelaſſenen und nachher bei b an der Hinterſeite des Spiegels zurückgeworfenen Strahlen; indeß ſind dieſe zweiten Ringe ſchwierig aufzufinden und man ſieht ſie nur dann ziemlich gut, wenn man an der Stelle c, wo ſie erſcheinen, durch einen kleinen Gegenſtand das Auffallen der directen Lichtſtrahlen hindert und ſo die Reflexionsringe unterbricht. Alle Verſuche Herſchel's beſtätigen übrigens das, was Newton ſchon geſehen hatte.

Durch dieſe Verſuche iſt es alſo ſchon entſchieden, daß ein enger Zwiſchenraum zwiſchen zwei Oberflächen feſter Körper eine Farbenerſcheinung hervorbringt; aber Newton, welcher in der hier eintretenden Trennung der Farben eine aus der Miſchung der Farbenſtrahlen im weißen Lichte hervorgehende mindere Einfachheit des Erfolges erkannte, ſah mit ſeinem gewöhnlichen Scharfſinne voraus, daß der Verſuch mit einfarbigem Lichte angeſtellt werden müſſe, um leichter die von jedem einzelnen Farbenſtrahle hier befolgten Geſetze angeben zu können. Er ließ demnach im finſtern Zimmer den durch das Prisma erhaltenen rothen, gelben, grünen Strahl u. ſ. w. jeden allein auf jene über dem ebnen Glaſe liegende Linſe fallen, und erhielt nun durch Zurückwerfung rothe, gelbe, grüne Ringe u. ſ. w. mit ganz dunkeln Zwiſchenräumen, jedesmal dem Lichte entſprechend, das er auf die Gläſer fallen ließ. Dieſes ließ ſich nicht anders erwarten. Aber zugleich zeigte ſich, daß bei Anwendung derſelben Gläſer die vom gelben Lichte hervorgebrachten Ringe kleiner als die rothen, die grünen kleiner als die gelben, die blauen kleiner als die grünen, die violetten kleiner als die blauen waren, daß alſo jede Art von Farbenſtrahlen eine eigne Dicke der Luftſchicht forderte, um durch Zurückwerfung ſichtbar zu werden. Newton berechnete aus den Halbmeſſern der Ringe die Dicke der Luftſchicht, und ſo ergab ſich, daß die Mitte des durch die äußerſten violetten Strahlen hervorgebrachten erſten Ringes da lag, wo der Zwiſchenraum 4 Milliontel Zoll betrug, daß die Mitte des zweiten durch eben dieſes Violett hervorgebrachten Ringes dem Zwiſchenraume von 12 Millionteln, die Mitte des dritten 20 Millionteln, die Mitte des vierten 28 Millionteln des Zolles entſprach, ſo daß dieſe Zahlen in der Folge 1 mal 4, 3 mal 4, 5 mal 4, 7 mal 4, 9 mal 4 u. ſ. w. fortgehen. Für einen Farbenſtrahl, der an der Grenze des Grün und Gelb im Farbenbilde lag, waren die Abſtände, welche der Mitte der Ringe entſprachen, 1 mal $5\frac{1}{4}$ Milliontel, 3 mal $5\frac{1}{4}$, 5 mal $5\frac{1}{4}$, 7 mal $5\frac{1}{4}$, 9 mal $5\frac{1}{4}$; für einen Farbenſtrahl, der im Roth und dem Ende des Farbenbildes nahe lag, 1 mal $6\frac{1}{3}$, 3 mal $6\frac{1}{3}$, 5 mal $6\frac{1}{3}$, 7 mal $6\frac{1}{3}$, 9 mal $6\frac{1}{3}$.

Dieſe Verſuche zeigen alſo ganz deutlich, daß bei einer gleichen Stellung des Auges, bei ungefähr ſenkrechter Zurückwerfung der Strahlen, jede Farbe an einer etwas andern Stelle reflectirt wird, ſo daß die Zurückwerfung bei violetten Strahlen am beſten bei dem Abſtande = 4, 12, 20, 28, 36 ſtatt findet, aber doch erheblich breite Ringe darbietet, die den Abſtänden = 2 bis 6, = 10 bis 14, = 18 bis 22, = 26 bis 30, = 34 bis 38 entſprechen.

Sie zeigen ferner, daß jede Farbe ebenſo Ringe von gewiſſer Breite darbietet, und daß daher im weißen Lichte, wo alle Farben zugleich vorhanden ſind, Farbenmiſchungen entſtehen müſſen, die ſich nun ſogar nach der Lage jener einzelnen Ringe berechnen laſſen. Der erſte violette Ring fängt da an, wo der Abſtand 2 iſt, und da kein andrer Ring einem kleinern Abſtande entſpricht oder keiner dem Mittelpunkte des in der Mitte genau berührenden Glaſes näher liegt, ſo erſcheint in der Mitte gar kein zurückgeworfenes Licht, ſondern ein ſchwarzer Fleck, der da, wo der Abſtand 2 (nämlich Milliontel des engl. Zolles) iſt, von einem violetten und blauen Ringe umgeben iſt. Aber ſchon dem Abſtande $3^1/_4$ entſpricht der innere Rand des rothen Ringes und hier gehen alſo bei einfallendem weißen Lichte Strahlen aller Farben zurückgeworfen hervor, ſo daß ſich der violette und blaue Ring nur ganz ſchmal zeigen kann und dann von einem weißen Ringe umgeben iſt. Bei dem Abſtande 6 hört der erſte violette Ring auf und in der Entfernung vom Mittelpunkte, wo der Abſtand = 7 iſt, werden nur noch grüne, gelbe, orangefarbene und rothe Strahlen reflectirt, deren Miſchung, wie Sie wiſſen, Gelb giebt, alſo geht hier der weiße Ring in Gelb über, an welches da, wo der Abſtand 9 iſt, ganz reines Roth ſich anſchließt, indem ſelbſt der orangefarbene Ring ſich nicht ſo weit erſtreckt. Der zweite violette Ring fängt bei dem Abſtande 10 an und geht bis 14, der zweite blaue geht von $10^3/_4$ bis $15^3/_4$, der zweite grüne von 12 bis 18, der gelbe von 13 bis $19^3/_4$, der orangefarbene von 14 bis $20^1/_2$, der rothe von $14^3/_4$ bis $22^1/_4$. Da alſo, wo der Abſtand nur 10 bis $10^3/_4$ iſt, ſieht man bloß violette Strahlen, bis gegen den Abſtand 12 nur violette und blaue gemiſcht; bei dem Abſtande 13 und 14 ein aus Violett, Blau, Grün gemiſchtes Blau; bei 16 eine Farbenmiſchung, welcher Violett und Blau fehlen, die alſo aus Grün ſchon in Gelb übergeht; bei 18 ein aus Grün, Gelb, Orange, Roth entſtehendes Gelb; bei 19 und 20 ſind Gelb, Orange, Roth des zweiten Ringes ſchon mit Violett des dritten gemiſcht. Dieſe Nachweiſung der Farben des zweiten Ringes ſtimmt ſo vollkommen mit den Beobachtungen überein, daß auch dieſe das Grün als ſchwach und weißlich angeben (weil bei 15 faſt alle Farbenſtrahlen hervorgehen) und das Roth als mit hinübergehend in den dritten violetten Ring. Bei dem Abſtande 20 nämlich kömmt das dritte Violett noch mit vielem Roth der zweiten Ordnung zuſammen; bei 22 bis 24 iſt Blau theils aus Violett und Blau, theils aus dieſen Farben und Grün gemiſcht; bei 25 verbinden ſich Blau, Grün, Gelb zu einem ſchönen Grün; ebenſo ſchön tritt das Gelb hervor; aber das Roth, welches bei 28 bis 31 am lebhafteſten erſcheinen ſollte, iſt ſchon ſtark mit dem vierten Violett, welches bei 26 anfängt, und mit Blau, welches bei 29 anfängt, gemiſcht. Hier fangen nun die Ringe der nächſten Ordnung an, ſo ſtark auf einander zu fallen, daß das Violett und Blau der vierten Ordnung gar nicht erſcheint; denn erſt bei dem Abſtand $34^3/_4$ endigt ſich der dritte rothe Ring völlig, und da der vierte violette Ring ſich ſogar ſchon früher endigt, ſo tritt bei 34 nur Blau und Grün, bei 36 bis 38 eine

Miſchung aus dem Gelb der vierten und dem Violett oder Violett und Blau der fünften Ordnung zu Grün hervor; bei 40 bis 42 iſt das Orange und Roth der vierten Ordnung mit dem Blau der fünften Ordnung gemiſcht, und da das Roth der vierten Ordnung ſich bis $47^3/_4$ erſtrecken ſollte, wo zugleich das Gelb der fünften und das Violett und Blau der ſechsten Ordnung hervorgeht, ſo erhellt, daß die Ringe, die mit Roth und Grün wechſelnd noch als fünfte und ſechste Ordnung hervorgehen, nun je mehr und mehr unkenntlich werdend ſich allmählig in Weiß verlieren müſſen.

Wenn ich dieſe Nachweiſung etwas zu umſtändlich verfolgt zu haben ſcheine, ſo werden Sie dieß, hoffe ich, verzeihlich finden, da die ſich hier ergebende Uebereinſtimmung zwiſchen dem, was die Farbenmiſchung ergeben ſoll, und dem, was die Erfahrung zeigt, zu merkwürdig iſt, um unbeachtet zu bleiben. Sie überſehen nun auch leicht, warum im einfarbigen Lichte die Zahl der kenntlichen Ringe größer war, weil nämlich dieſes Zuſammenfallen der Ringe verſchiedener Ordnungen hier nicht eintreten konnte. Man iſt im erſten Augenblicke geneigt, zu glauben, daß bei gleichfarbigem Lichte eine noch viel größere Reihe von Farbenringen hervorgehen müßte, weil eine Farbenmiſchung, die Weiß geben könnte, nicht eintreten kann; aber der Grund, warum doch auch hier endlich eine gleichmäßige farbige Erleuchtung kenntlich wird, iſt leicht einzuſehen. Wenn wir auch einen ſehr begrenzten Strahl einfarbigen Lichtes, zum Beiſpiel grünen Lichtes, auffallen laſſen, ſo wiſſen Sie doch ſchon, daß dieſer immer noch aus einer Folge von ungleich brechbaren, wenn gleich nur ſehr wenig an Brechbarkeit verſchiedenen Strahlen beſteht, und genau ſo, wie die ungleiche Brechbarkeit in unmerklichen Uebergängen ſelbſt im grünen Strahle da größer iſt, wo das grüne Licht auch nur wenig dem blauen näher liegt, ſo iſt auch jener für die Entſtehung der Ringe erforderliche Abſtand ſelbſt für grünes Licht nicht überall gleich, ſondern etwas geringer für den dem blauen Lichte näheren Theil des grünen Strahles. Für die Mitte des grünen Strahles kann man 5 Milliontel als den Abſtand der beſten Reflexion angeben, dagegen $4^3/_4$ für einen ſchon völlig blauen Lichtſtrahl; wir werden alſo ein Licht noch für vollkommen grün anſehen, ſowohl wenn 5 als wenn 4,9 Milliontel dem Abſtande der beſten Reflexion entſprechen; aber dieſe beiden grünen Lichtſtrahlen geben im ſtrengſten Sinne genommen ſchon ungleiche Farbenringe, wenigſtens dem Durchmeſſer nach, wenn auch, ſo weit das Urtheil unſeres Auges geht, nicht der Farbe nach. Die Mitte der aus jenen beiden Lichtſtrahlen entſtehenden Ringe entſpräche den Abſtänden 5 und 4,9; 15 und 14,7; 25 und 24,5 und ſo weiter; hier käme ſchon der zwanzigſte Ring der einen Lichtart faſt genau auf die Mitte zwiſchen den Ringen der andern Lichtart, ſo daß dennoch endlich ein Unkenntlichwerden der Ringe einträte. Dieſes erfolgt, bei der Schwierigkeit, ein ſo gleichförmiges Licht zu erhalten, leicht noch früher, und es iſt ein Zeichen, daß man ſehr gleichartiges Licht habe, wenn die Zahl der Ringe groß iſt.

Aber nicht bloß die Luftſchicht zwiſchen zwei Objectivgläſern iſt geeignet, dieſe Farben zu zeigen, ſondern auch dann, wenn der Zwiſchenraum mit Waſſer

gefüllt iſt, beobachtet man eben ſolche Farbenringe, welche aber nun von viel geringerem Durchmeſſer ſind und mattere Farben, jedoch in eben der Ordnung zeigen. Und ebenſo iſt jedes dünne Blättchen eines Körpers, jede dünne Schicht einer Flüſſigkeit geeignet, gewiſſe Farbenſtrahlen zurückzuwerfen und die übrigen durchzulaſſen, ja ſelbſt im luftleeren Raume zeigen ſich ebenſo Farbenringe. In allen Fällen aber iſt die Art der zurückgeworfenen Strahlen nach der Dicke der Schicht verſchieden, und zwar ſo verſchieden, daß dieſelben Farbenſtrahlen bei der dreifachen, fünffachen, ſiebenfachen, neunfachen, eilffachen Dicke zurückgeworfen werden, wenn ſie bei der einfachen Dicke zurückgeworfen wurden, und daß dagegen da, wo die zweifache, vierfache, ſechsfache, achtfache, zehnfache Dicke ſtatt findet, alle dieſe Farbenſtrahlen durchgelaſſen werden. Jene einfache Dicke iſt allemal kleiner bei dem violetten Strahle und nach der Ordnung größer bei den übrigen; auch iſt das Verhältniß für die verſchiedenen Farbenſtrahlen immer gleich, ſo daß, wenn 4 Milliontel als dem äußerſten Violett, $5^1/_4$ als der Grenze des Grün und Gelb, $6^1/_3$ als dem äußerſten Roth entſprechend bei der Luft bekannt ſind, man dieſe Zahlen nur mit dem Brechungsverhältniſſe zu multipliciren braucht, um bei andern Körpern die jeder Farbe angemeſſene Dicke zu finden; für Waſſer ſind $^3/_4$ jener Dicken, für Glas und Terpentinöl ungefähr $^2/_3$ anzunehmen, und man braucht nur die genauen Zahlen für die Brechungsverhältniſſe zu ſetzen, um die Angaben genau zu erhalten.

Andre Fälle, wo wir die Farben dünner Körper beobachten.

Um nicht allzu lange bei dieſen Erſcheinungen zu verweilen, will ich andre Fälle, wo ſich uns dieſe Farben zeigen, nur kurz erwähnen und dann zur Theorie ihrer Entſtehung übergehen. Wir ſehen dieſe Farben oft da, wo bei Körpern, die aus Blättchen beſtehen, entweder dieſe Blättchen dünn genug ſind, um uns Farben einer niedrigen Ordnung, wo nämlich noch keine Miſchung aller Farben eintritt, zu zeigen, oder wo zwiſchen den Schichten ſich ſo dünne Luftſchichten eingeſchloſſen befinden; man ſieht ſie an dünnen Fiſchſchuppen, an den Wänden feiner ausgeblaſener Glaskugeln, an den dünnen Oxydſchichten auf polirtem und ſtark erhitztem Stahl oder Kupfer u. ſ. w. Dieſe Körper ſpielen Farben, das heißt, die Farbe ändert ſich mit der Stellung des Auges; denn ich habe ſchon oben erwähnt, daß die Ringe bei ſchief zurückgeworfenen Strahlen etwas größer werden, oder daß einem gleichen Abſtande Farben einer niedrigern Ordnung entſprechen, welches offenbar, wenn der Abſtand für zwei ganze Flächen gleich iſt, einem Hinübergehen der Farben dritter Ordnung zu denen zweiter Ordnung bei größerer Schiefe der Zurückwerfung entſpricht. Der Farbenwechſel, den wir bei dem erſten Experimente mit Terpentinöl auf Waſſer beobachteten, geht vorzüglich aus der allmählig ſich ändernden Dicke der Oelſchicht hervor, und ein zu großer Tropfen giebt keine ſchönen Farben mehr, wenn die Dicke der Schicht ſo groß iſt, daß ſchon die vierte oder fünfte Farbenreihe hervorgehen müßte. Die Seifenblaſen ſind als

höchſt dünne Waſſerſchichten gut geeignet, dieſe Farben zu zeigen, und da bei großen Blaſen die Waſſerſchicht oben merklich dünner als unten iſt, ſo gehören die Farben oben den geringeren Dicken, den kleineren Ringen in den vorhin betrachteten Fällen, an; wenn bei längerer Dauer die Blaſe oben immer mehr ſich verdünnt, ſo zeigt ſich oben der ſchwarze Fleck, ſo wie in der Mitte der Glaslinſe, und die Ringe der erſten und zweiten Ordnung umgeben ihn; aber das Zerſpringen der Blaſe iſt dann auch nicht mehr lange entfernt.

Anwandelungen des leichtern Durchgangs und der leichtern Zurückwerfung.

Dieſe wunderbare Eigenſchaft der Lichtſtrahlen, bei gewiſſer Dicke der Schicht gänzlich durchgelaſſen, ebenſo bei der doppelten, dreifachen, vierfachen Dicke wieder ganz durchgelaſſen zu werden, aber eine Zurückwerfung zu erleiden, wenn die Dicke die Hälfte, das Anderthalbfache, das $2\frac{1}{2}$fache u. ſ. w. jener Dicke iſt, hat eigentlich der Newton'ſchen Vorſtellung von ungleichen, in gewiſſen Perioden wiederkehrenden Zuſtänden der Lichttheilchen ihre Entſtehung gegeben. In der That, wenn wir zuerſt nur von einer Art Farbenſtrahlen, zum Beiſpiel von den violetten, reden, ſo ſcheint es bloß der reine Ausſpruch der Erfahrung zu ſeyn, daß Lichttheilchen, die in eine Luftſchicht eingetreten ſind, ſich, nachdem ſie 4 Milliontel Zoll durchlaufen haben, am fähigſten für die Zurückwerfung zeigen, nachdem ſie aber 8 durchlaufen haben, der Zurückwerfung gar nicht fähig ſind, daß ſie ferner, nachdem ſie 12 oder 20 oder 28 oder 36 durchlaufen haben, wenn ſie nämlich dort eine Grenze der Luftſchicht antreffen, der Reflexion fähig, aber nachdem ſie 16 oder 24 oder 32 durchlaufen haben, der Reflexion nicht fähig ſind. Dieſe Anwandelungen leichtern Durchgangs oder leichterer Zurückwerfung kehren alſo auf gleiche Art nach einer Periode, die 8 Millionteln eines Zolles entſpricht, wieder; wenn man dieß die Länge einer Anwandelung für den äußerſten violetten Strahl des prismatiſchen Farbenbildes nennt, ſo iſt $10\frac{1}{2}$ die Länge der Anwandelung für den Strahl an der Grenze des Grün und Gelb, $12\frac{3}{4}$ die Länge der Anwandelung für das äußerſte Roth. Daß zwiſchen dieſen Zuſtänden der leichteſten Reflexion und gar keiner Reflexion ſich alle Mittelzuſtände, alle Phaſen leichterer und minder leichter Zurückwerfung finden, iſt leicht zu erachten.

Nach Newton's Vorſtellung muß man dieß ſo auffaſſen. Indem die in allen möglichen Zuſtänden, in allen verſchiedenen Phaſen der Anwandelungen an eine Trennungsfläche zweier Körper gelangenden Lichttheilchen eine ungleiche Fähigkeit haben, dieſe Trennungsfläche zu durchdringen, werden vorzüglich diejenigen durchgelaſſen, die in dem Zuſtande der leichteren Durchlaſſung ſich befinden. Wären ſie alle genau in dem vollkommenſten Zuſtande der leichten Durchlaſſung, ſo würden ſie in der Luft nach Zurücklegung eines Raumes von 8, 16, 24 genau wieder im vollkommenſten Zuſtande der leichteſten Durchlaſſung ſeyn, alſo an der Rückſeite der Luftſchicht beim Uebergange in den

andern Körper gar keine Zurückwerfung leiden, dagegen nach Zurücklegung eines Raumes von 4, 12, 20, 28 am vollkommenſten der Zurückwerfung fähig ſeyn; an dieſen letztern Stellen alſo ſähe das die zurückgeworfenen Strahlen empfangende Auge die hellen Ringe, an jenen die dunkeln. Hiernach läßt ſich die ganze Erſcheinung überſehen, wenn man bloß auf diejenigen Lichttheilchen Rückſicht nimmt, die beim Eintritte in die dünne Schicht ſich beinahe in dem vollkommenſten Zuſtande des leichteſten Durchgangs befanden oder, wie man es ausdrückt, in der Phaſe des leichteſten Durchgangs waren. Gewiß aber werden beim Eintritte in die dünne Luftſchicht auch ſolche durchgelaſſen, die ſich ſchon ziemlich weit von dieſer genaueſten Phaſe des leichten Durchgangs entfernt befinden, und dieſe gehen durch die zweite Oberfläche auch da, wo wir die beſte Reflexion ſehen, dennoch durch. Aus dieſem Grunde ſind die im durchgelaſſenen Lichte kenntlichen Farbenringe mit vielem weißen Lichte gemiſcht, weil Strahlen aller Farben, ſofern ſie ſich an der zweiten Oberfläche nicht im vollkommenſten Zuſtande der leichteſten Reflexibilität befinden, durchgelaſſen werden, und dieſe Ringe ſind nur darum farbig, weil ihren Lichttheilchen jene beſtimmten Farben fehlen.

Dieß wird hinreichen, um von Newton's Vorſtellung über den wechſelnden Zuſtand der Lichttheilchen einen Begriff zu geben.

Erklärung dieſer Erſcheinungen nach der Undulationstheorie.

Nach der Undulationstheorie legten wir den Aetherwellen eine abwechſelnde Verdünnung und Verdichtung bei und machten die Bemerkung, daß zwei Lichtſtrahlen ſich verſtärken, wenn die Verdichtung in der einen Lichtwelle mit der Verdichtung in der andern zuſammentrifft; aber wir müſſen offenbar auch hinzufügen, daß eine Interferenz, eine gegenſeitige Zerſtörung der Wellen eintreten kann, wenn Verdichtung der einen mit Verdünnung der andern fortwährend zuſammentrifft. Wir wollen ſehen, wiefern ſo etwas bei unſerm Phänomene wirkſam ſeyn kann.

Daß an jeder Oberfläche, wo die Lichtwelle in einen neuen Stoff eindringt, ſich zugleich eine reflectirte Welle bildet, wiſſen Sie. Da, wo ſo ſehr nahe an einander zwei zurückgehende Wellen an zwei nur um wenige Milliontel eines Zolles von einander entfernten Oberflächen entſtehen, kann dieſe Verſtärkung ſowohl als dieſe Auslöſchung ſichtbar werden, und die Erklärung der Farbenringe liegt hier ſehr nahe. Aber ehe wir weiter gehen, muß ich eine Bemerkung angeben, auf welche hier die Theorie der Wellenbewegung führt. Allerdings entſteht allemal eine zurückgehende Welle ſowohl da, wo die Lichtwelle in ein dünneres Mittel, als da, wo ſie in ein dichteres eintritt, jedoch mit dem Unterſchiede, daß im einen Falle eine halbe Undulationsphaſe verloren geht. Beim Uebergange in einen dünneren Körper fängt die zurückgehende Welle erſt an, nachdem die herankommende ein wenig in den dünnern Körper eingedrungen iſt, und obgleich es nicht ſtreng nachzuweiſen iſt, daß dabei ganz genau eine halbe Undulation, eine halbe Wellenlänge verloren

geht, ſo ſcheint doch die Erfahrung dafür zu entſcheiden. Nehmen wir nun dieſes an, ſo entſteht erſtlich eine Interferenz da, wo beide Oberflächen der dünnen Luftſchicht einander ſo nahe ſind, daß ihr Abſtand ſelbſt gegen die geringe Länge einer Lichtwelle unbedeutend iſt; denn hier geht an der erſten Fläche die Welle, die ſich um eine halbe Undulation verändert hat, und an der zweiten die unveränderte Welle zurück. War alſo der antreffende Theil der Welle ein verdichteter, ſo geht dort ein verdünnter, hier ein verdichteter zurück, und weil dieſe ſich gänzlich ausgleichen, ſo geht gar keine, Erleuchtung bewirkende Lichtwelle zurück, indem bei dem antreffenden verdünnenden Wellentheile und ſo bei jedem einzelnen Theile der Welle die beiden neu entſtehenden Wellen ſich ebenſo zerſtören. Da alſo, wo die Glasflächen einander berühren, erhält das Auge kein zurückgeworfenes Licht, weil die zwei Wellen ſich zerſtören; das durchgelaſſene Licht, welches vermöge der eindringenden Welle entſteht, leidet dabei nur eine geringe Schwächung. Zweitens: da, wo die Luftſchicht die Dicke einer Viertelwellenlänge hat, entſteht ein verſtärktes reflectirtes Licht. Um dieß deutlich zu überſehen, wollen wir die Wellenlänge in vier Theile zerlegen und die Grenzen derſelben als den am meiſten verdichteten, den mittlern, den am meiſten verdünnten, den mittlern Theil bezeichnen. Da nun die vordringende und die vom feſten Körper, hier von der zweiten Oberfläche der Luftſchicht, reflectirte Welle ſich in Hinſicht der Ordnung dieſer Theile nicht ändern, die an der erſten Oberfläche der Luftſchicht zurückgehende dagegen gleichſam plötzlich in den entgegengeſetzten Zuſtand übergeht, ſo iſt leicht zu überſehen, daß für eine Dicke $= 1/4$ Wellenlänge der eindringende am meiſten verdichtete Theil die zweite Seite der Luftſchicht erreicht, wenn der von mittlerer Dichtigkeit an der erſten Seite eindringt, und daß der am meiſten verdichtete Theil wieder durch die erſte Oberfläche zurückgeht, wenn der am meiſten verdünnte Theil dort antrifft und eine rückgehende Welle erregt, die ſogleich mit ihrem am meiſten verdichteten Theile in eben dem Momente von hier ausgeht. So gehen alſo nun zwei verdichtete Wellentheile, die einen verſtärkten Eindruck bewirken, zugleich von hier aus und geben dem die reflectirten Strahlen empfangenden Auge den Anblick einer Licht- oder einer Farbenerſcheinung. Drittens: da, wo die Dicke der Luftſchicht eine halbe Wellenlänge beträgt, iſt die von der zweiten Oberfläche zurückkehrende Welle, weil ihr Weg vorwärts und rückwärts eine ganze Wellenlänge beträgt, bei der Ankunft an der erſten Oberfläche in eben dem Zuſtande, wie die eben dort eintretende; aber da die letztere hier eine in entgegengeſetztem Zuſtande befindliche Welle erregt, ſo heben Verdichtung der von der zweiten und Verdünnung der von der erſten Welle erregten, zurückkehrenden Welle ſich auf, und dieſe Interferenz hindert an dieſer Stelle die Lichterſcheinung, man ſieht hier kein reflectirtes Licht. Viertens: bei einem Abſtande von $3/4$, $5/4$, $7/4$, $9/4$ einer Wellenlänge geht es wie bei dem Abſtande $= 1/4$, und bei einem Abſtande $= 1/2$, $= 1$, $= 3/2$, $= 2$, $= 5/2$ geht es ebenfalls gleichmäßig, alſo ſieht das Auge in jenen Fällen Lichtverſtärkungen, in dieſen Fällen

dagegen bringen die Interferenzen Dunkelheit hervor. Endlich muß ich noch den Fall betrachten, wo die Dicke der Luftſchicht etwas größer als $1/4$ und kleiner als $1/2$ iſt. Hier iſt die von der zweiten Oberfläche zurückkehrende Welle nicht genau in dem Zuſtande, in welchem die ſich mit ihr verbindende, von der erſten Oberfläche zurückgehende ſich befindet; indeß ſo lange die Dicke nicht viel von $1/4$ Wellenlänge abweicht, verſtärken ſie dennoch einander, aber das Licht erſcheint hier minder lebhaft; alſo haben die hellen Ringe einige Breite und ſind in der Mitte am hellſten, gegen die Orte zu aber, wo die Dicke wenig von $1/2$ verſchieden iſt, wird der Lichteindruck, obgleich noch keine vollkommene Interferenz eintritt, zu ſchwach, um das Auge zu rühren, und deshalb haben auch die dunkeln Ringe einige Breite.

Hiedurch werden die durch Zurückwerfung entſtehenden Ringe vollkommen erklärt, aber es ſcheint, daß das durchgegangene Licht keine Ringe bilden könne, da die zurückgehenden Wellen gleich gut ſtatt finden, ſie mögen durch Interferenz unmerklich werden oder nicht. Dieſem Zweifel begegnet Young auf folgende Weiſe. Offenbar findet auch da, wo die Lichtwelle nach der Zurückwerfung wieder aus der erſten Oberfläche hervordringt, eine neue Reflexion ſtatt. Auch das durchgehende, auf die andre Seite beider Glasſcheiben gelangende Licht beſteht alſo aus zwei Wellen, einer gradezu durchgehenden und einer an der Hinterfläche und dann an der Vorderfläche abermals zurückgeworfenen, deren Zuſammenkommen für den Abſtand $= 1/2$ Wellenlänge ich hier noch betrachten will. Hier iſt der von der erſten Oberfläche beim zweiten Antreffen an dieſelbe reflectirte Wellentheil genau um eine ganze Wellenlänge dem gradezu durchgehenden voraus geweſen, es treffen alſo ein nach zweimaliger Zurückwerfung am feſten Körper in der zweiten Oberfläche ankommender und ein gradezu durchgehender ganz gleicher Wellentheil zuſammen und das Auge ſieht hier verſtärktes Licht.

Wenn die dünne Schicht keine Luftſchicht iſt, ſondern eine Waſſerſchicht, ſo haben die Lichtwellen nur $3/4$ der Länge, die ſie in der Luft hatten, indem, wie Sie früher geſehen haben, das Brechungsverhältniß 1 zu $3/4$, wie es bei Luft und Waſſer ſtatt findet, eben daher entſteht, weil die Geſchwindigkeit des Lichts von 1 auf $3/4$ abnimmt. Die Lichtwellen von einerlei Farbe behalten aber gleiche Zeitperiode, ihre Länge nimmt alſo auf $3/4$ ab, und die Interferenzen finden dieſen kleineren Wellenlängen entſprechend ſtatt; grade ſo ergeben es ſchon die Newton'ſchen Meſſungen der Ringe.

Schwieriger würde es ſeyn, hier den Grund nachzuweiſen, warum die Halbmeſſer der Ringe bei ſchiefem Durchgange der Strahlen ſich vergrößern, und da ich ohnehin ſchon ſo lange hiebei verweile, ſo will ich mich bloß auf Fresnel's Autorität, daß die Theorie der Undulationen dieſes erkläre, berufen.

Ich habe bisher nur von einer beſtimmten Wellenlänge geſprochen, aber Sie wiſſen ſchon, daß wir jedem Farbenſtrahle eine eigenthümliche Wellenlänge zuſchreiben, und überſehen nun auch, daß die mit jedem einzelnen Farbenſtrahle

angeſtellten Experimente uns dieſe verſchiedenen Wellenlängen kennen lehren. Jene 4 Milliontel Zoll für die äußerſten violetten und 6$^{3}/_{8}$ Milliontel Zoll für die äußerſten rothen Strahlen ſind das Viertel der Wellenlänge, ſo daß ich nun nach Herſchel's Beſtimmung 26,6 Milliontel für das äußerſte Roth, 21,9 für die an der Grenze des Gelb und Grün,[1] 16,7 für die an der Grenze des äußerſten Violett liegenden Strahlen als ganze Wellenlänge angeben kann. Von der erſten Art Wellen kommen 37640, von den letztern 59750 auf 1 Zoll, und 458 Billionen für die erſten, 727 Billionen für die letzten geben die Zahl der Vibrationen in einer Secunde an.[2] — Sie werden in der Folge ſehen, daß die Schlüſſe der Undulationstheorie uns noch zu andern hiemit übereinſtimmenden Angaben für die Wellenlänge der verſchiedenen Farbenſtrahlen führen, und ſo wenig wir es vergeſſen dürfen, daß dieſe Theorie über die ungleiche Brechung der verſchiedenen Farben keinen genügenden Aufſchluß giebt und daß nach ihr die ungleichen Grade der Farbenzerſtreuung völlig unerklärt bleiben, ſo müſſen wir doch geſtehen, daß in den eben durchgeführten Betrachtungen und in denen über die Beugung des Lichtes, worauf ich bald kommen werde, eine große Empfehlung dieſer Theorie liegt.

Natürliche Farben der Körper.

Hieher gehört nun auch eine ſchon von Newton gemachte Bemerkung über die natürlichen Farben der Körper, die von der Richtigkeit der einen oder andern Hypotheſe unabhängig iſt. Alle Körper beſtehen gewiß aus getrennten Theilchen; denken wir uns dieſe als dünne Blättchen, die an ihrer Vorder- und Hinterſeite das Licht zurückwerfen, ſo wird ſich die der Dicke der Blättchen und ihrer Brechungskraft angemeſſene Farbe als eigenthümliche Farbe des Körpers zeigen. Wenn die Blättchen, von denen die Farbe abhängt, dichter ſind, als die die Zwiſchenräume füllende Materie, oder wenn jene das Licht mehr brechen als dieſe, ſo wird die Farbe der Körper bei verſchiedenen Auffallswinkeln nicht merklich verſchieden ſeyn, und dieſes muß alſo bei den meiſten Körpern, die keinen Farbenwechſel bei ungleicher Stellung des Auges zeigen, ſtatt finden. Hiemit iſt die Lücke ausgefüllt, die wir oben in Beziehung auf dieſen Gegenſtand noch übrig ließen.

Man hat hieran Schlüſſe geknüpft, um die Dicke dieſer die Farben beſtimmenden Körpertheilchen anzugeben. Ein Glasblättchen von 16 Milliontel Zoll Dicke giebt ſchon das Grün der dritten Ordnung, und da die kleinſten Theile der Körper vielleicht das Licht noch ſtärker brechen (welches zu vermuthen ſich in der Folge Gründe finden), ſo können diejenigen, welche das

[1] Für eine Stelle im Farbenbilde, die etwas mehr nach dem Grün zu liegt, giebt Fraunhofer 19,45 Milliontel des Pariſer Zolles = 20,74 Milliontel des engliſchen Zolles, für die Grenze des Orange und Gelb 21,75 Milliontel pariſer Zoll = 23,2 Milliontel engliſche Zoll, während Herſchel 23,5 Milliontel engliſche Zoll hat, was alſo hinreichend übereinſtimmt.

[2] Noch andre Berechnungen geben für eine Secunde und für die Farben Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett nach der Reihe 451, 480, 509, 547, 589, 624, 662 Billionen Schwingungen. (M.)

Blau oder Violett der zweiten Ordnung darſtellen, noch aus viel feinern Theilchen, nämlich ſo getrennt, wie wir hier annehmen, beſtehen. Doch ſind dieß Rechnungen, die nur ſchwach begründet ſind, und ich führe ſie bloß an, um dasjenige verſtändlich zu machen, was man wohl als Folgerung über die Größe der neben einander liegenden Theilchen geſagt hat.

Zweiundvierzigſte Vorleſung.

Widerlegung eines Einwurfs gegen die Undulationstheorie.

Die Undulationstheorie hat oft den ſehr ſcheinbaren Vorwurf erleiden müſſen, daß ſie für eines der einfachſten Phänomene, für die ſcharfe Begrenzung des Schattens, keine genügende Erklärung gebe. In allen andern Fällen nämlich, ſagte man, wo wir Wellen durch eine Oeffnung AB (IX. Fig. 6) gehen ſehen, bringen ſie keineswegs Wellen, die ſich genau durch die Linien AE, BF begrenzen, hervor, ſondern die Wellen erſtrecken ſich über dieſe durch den Mittelpunkt der Wellen und die Grenze der Oeffnung gezogenen Linien hinaus; bei den Lichtwellen hingegen ſcheint die ſtrenge Begrenzung des Schattens ein völliges Aufhören der Lichtwellen an eben jenen Linien, die hier die Schattengrenze des die Oeffnung einſchließenden Körpers bezeichnen, anzudeuten.

Dieſe Abweichung von den Geſetzen der Wellen iſt indeß nur ſcheinbar, da eine zwar ſchwache, aber doch merkliche Lichterſcheinung auch über die ſtrengen Grenzen des Schattens hinaus ſtatt findet und ſich Gründe angeben laſſen, warum dieſe nur ſchwach und nur wenig über die Schattengrenze hinaus, in den Erſcheinungen der Diffraction, Beugung oder Inflexion des Lichtes, ſichtbar iſt. Was dieſen letzten Umſtand betrifft, ſo iſt es ſehr bekannt, daß Waſſerwellen, die von C (IX. Fig. 11) ausgehend die Oeffnung AB erreichen, dort neue Wellen DEF erregen, welche ſich von der Oeffnung nach allen Seiten verbreiten und nicht auffallend ſtärker bei E, als bei D und F ſind; aber es iſt auch bekannt, daß ſchon bei den Schallwellen, wo allerdings die Fortpflanzung nach D und F merklich iſt, doch der Schall in E viel lebhafter, in D und F viel ſchwächer gehört wird. Dieſe Erfahrungen deuten darauf hin, daß zwar jede Wellenbewegung die Eigenſchaft behält, ſich von der Oeffnung als von einem Mittelpunkte aus zu verbreiten, daß aber die Stärke der Erſchütterung deſto ſchneller jenſeits der Linien AH, BK abnimmt, je größer die Fortpflanzungsbewegung der Wellen iſt, und daß alſo auch die Lichtwellen ſich freilich ſo wie DEF fortpflanzen mögen, aber mit einer ſolchen, von E nach D und von E nach F erfolgenden ſchnellen Abnahme der Vibrationsgeſchwindigkeit, daß nur unmittelbar jenſeits AE, BE noch Erleuchtungserſcheinungen kenntlich ſind.

Beugung oder Diffraction des Lichtes. Verſuche im frei auffallenden Lichte.

Dieſe ſchwachen Lichtphänomene nun, die ſich unmittelbar an die eigentliche Schattengrenze anſchließen, ſind diejenigen, die man ſchon lange der Beugung des Lichtes zugeſchrieben hat. Um zu zeigen, daß ſie ſelbſt im vollen Sonnenlichte nicht ganz unmerklich ſind, dienen folgende von Flaugergues angegebene Verſuche, die freilich zum Theil einiger Täuſchung, vermöge des ſeitwärts vom hellen Himmel einfallenden Lichtes, unterworfen ſind, aber doch den Erfolg der Beugung ſchon zeigen. Wenn man eine Kugel, am beſten mit Ruß geſchwärzt, damit kein Licht am Rande der Erleuchtung zurückgeworfen werde, frei in der Sonne aufhängt, ſo ſollte der Schattenkegel ſich erſt in einer Entfernung, die gleich dem 107maligen Durchmeſſer der Kugel iſt, endigen, und erſt wenn man das Auge noch etwas weiter entfernt in die Axe des Schattenkegels bringt, ſollte die Sonne, als ſcheinbar größer, die ganze dunkle Kugel umgeben; aber ſchon in einer geringern Entfernung findet man die Erleuchtung in der Mitte des Schattens ſtark und ſtärker als am Rande des Schattens, und auch das in die Nähe der Schattengrenze gebrachte Auge empfängt ſchon Strahlen von der Sonne, wenn es gleich noch innerhalb der geometriſchen Grenze des Schattens, nämlich innerhalb der dem graden Fortgange der Strahlen entſprechenden Grenze des Schattens iſt. Alſo werden Lichtſtrahlen an dem Rande des dunkeln Körpers von der graden Linie abwärts, und zwar hier nach dem Innern des Schattens zu, abgelenkt.

Verſuche, die hiemit ebenfalls in Verbindung ſtehen, ſind folgende. Wenn man einen ziemlich ſchmalen Körper, der jedoch breiter als die Lichtflamme iſt, ſo vor dieſe hält, daß die Lichtflamme (gegen die man nur mit einem Auge, während das andre geſchloſſen iſt, ſieht) davon verdeckt wird, ſo ſieht man gleichwohl lichte Streifchen neben dem Orte der Lichtflamme unmittelbar an den Grenzen des ſchmalen Körpers. Dieſe hellen Linien entſtehen nicht etwa durch Spiegelung am Rande des Körpers, denn ſie erſcheinen an der ſchärfſten Meſſerſchneide, wenn auch die Seite des Meſſers, die gegen das Auge gekehrt iſt, gar kein Licht empfängt. Sie werden immer glänzender, je weniger die ſcheinbare Breite des dunkeln Körpers die Breite der Lichtflamme übertrifft, was man an einer Meſſerklinge zeigen kann, indem man ſie nach und nach mehr geneigt gegen die Geſichtslinie hält. Hier kommen alſo (IX. Fig. 12) Lichtſtrahlen von AB nach O, obgleich der ganze Raum zwiſchen E und F im Schatten liegen ſollte; ſie werden alſo bei C, D gebeugt, d. i. von ihrer graden Richtung abgelenkt. Eben ſolche Lichtlinien ſieht man am Rande jedes, die zum Auge hingehenden Lichtſtrahlen unterbrechenden dunkeln Körpers, und zwar ſo, daß ſie mit dunkeln Linien, die dieſen Rand umgeben, abwechſeln. Daraus entſteht, wenn man einen ſchmalen Spalt vor dem Auge gegen die Lichtflamme hält, die Erſcheinung dunkler und heller Linien, parallel mit den Seiten des Spalts, und endlich, wenn dieſer einen gewiſſen Grad von Enge

erreicht, eine dunkle Linie in der Mitte, wo doch grade das Licht am freieſten durchgehen zu müſſen ſcheint.

Verſuche im dunkeln Zimmer.

Alle dieſe Erſcheinungen gehören zu denen, die man der Beugung des Lichtes zuſchreibt; aber wenn man ſie ſo beobachtet, ſo kann man dem Zweifel, ob nicht die Undeutlichkeit des Sehens einen Antheil hieran habe, nicht ganz ausweichen, und es iſt daher wichtig, die Erſcheinungen auf einer weißen Tafel wahrzunehmen, welches nur im dunkeln Zimmer gut geſchehen kann. Hier kann man nun auch alles ſeitwärts einfallende Licht vermeiden, wenn man das Sonnenlicht durch eine ſehr kleine Oeffnung, zum Beiſpiel von $\frac{1}{2}$ Linie Durchmeſſer, einfallen und dieſen ſchmalen Lichtſtrahl in bedeutender Entfernung durch eine noch engere oder ebenſo enge Oeffnung gehen läßt; denn wenn hier zum Beiſpiel AB (IX. Fig. 13) 10 Fuß oder 2880 halbe Linien beträgt, ſo iſt der Winkel, den die äußerſten Strahlen CBb, ABa mit einander machen, nur wenig über eine Min., und damit ſind die Grenzen des Schattens und Halbſchattens völlig beſtimmt. Hier zeigen ſich nun, wenn man in der Gegend b einen dunkeln Körper in den Sonnenſtrahl hält und ſeinen Schatten auf eine weiße Tafel fallen läßt, helle Linien mit der Grenze des Schattens parallel, die jedoch da viel ſchöner hervortreten, wo zwei Schatten nahe an einander gedrückter Körper einander gleichſam begegnen. Man bedient ſich hiezu am beſten zweier in eine grade Schärfe endigender Metallplatten, deren Ränder einander, entweder parallel oder gegen einander geneigt, genähert werden können. Iſt hier die Entfernung beider Schärfen noch ziemlich groß, ſo zeigt ſich, in jenem beſchränkten Sonnenſtrahle gehalten, der Schatten beider Schärfen mit hellen Linien umgeben; bei größerer Annäherung bemerkt man, wenn der Schatten in nicht allzu geringer Entfernung hinter dem Spalte auf einer Tafel aufgefangen wird, deutlich, daß dieſe den Schatten umgebenden Linien farbig ſind und immer mehr ſich von der Schattengrenze entfernen; rücken die Schärfen einander noch näher, ſo rücken die farbigen Linien, die dem einen Schatten angehören, in den andern Schatten hinein. Wenn die Schärfen einander bis auf ungefähr $\frac{1}{4}$ Linie nahe gekommen ſind, ſo hat der erhellte Raum zwiſchen den beiden Schatten ſeine geringſte Breite erreicht, und bei noch geringerm Abſtande wird er wieder breiter, erhält aber dann eine dunkle Schattenlinie in der Mitte.

Wenn man dieſe Erſcheinungen auf der weißen Tafel einmal geſehen hat, ſo iſt man hinreichend überzeugt, daß nicht etwa nur eine Täuſchung durch undeutliches Sehen ſtatt findet. Man kann ſich dann die Erſcheinungen ſchöner verſchaffen, wenn man die Schatten auf ein matt geſchliffenes Glas fallen läßt und dieſes mit einer Vergrößerungslinſe von der Hinterſeite her betrachtet; ja wenn man dieß mit Aufmerkſamkeit thut, ſo ſieht man, daß es gar nicht erſt nöthig iſt, die Schatten und Farbenränder auf dem matten Glaſe aufzufangen, ſondern die Linſe zeigt, auch unmittelbar die Strahlen auffangend,

die Erſcheinungen dem Auge ſo, wie ſie auf einem in ihrem Brennpunkte gehaltenen matten Glaſe oder auf einer andern im Brennpunkte gehaltenen Tafel erſcheinen würden, und man hat dabei den Vortheil, hier durch die directen Strahlen eine viel ſchönere Farbenerſcheinung zu erhalten, als die iſt, die ſich auf dem matt erleuchteten Papiere oder dem die Strahlen nur unvollkommen durchlaſſenden Glaſe darſtellt.

Vorzüglich ſchön zeigt ſich die Erſcheinung dieſer Farbenränder, wenn man die beiden Metallplatten mit gegen einander geneigten Schärfen einander ſo nähert, daß ſie ſich am einen Ende berühren und am andern etwa noch ½ Linie von einander entfernt ſind. Bringt man hier die matte Glastafel, welche die an den Schärfen vorbei gegangenen Strahlen auffängt, in einer nicht zu geringen Entfernung an, oder hält auch die als Ocular dienende Linſe nur ſo, daß man die Erſcheinung ohne Glas gut ſieht, ſo zeigen ſich da, wo der Zwiſchenraum breit genug iſt, drei Farbenränder an jeder der Schärfen und ihnen beinahe parallel, aber dieſe Farbenränder entfernen ſich da, wo der Zwiſchenraum enger wird, mehr von der Schattengrenze und gehen gekrümmt in den entgegengeſetzten Schatten hinüber. Dieſes muß offenbar ſo ſeyn, weil bei geringerm Abſtande der beiden Schärfen allemal die Ränder ſich weiter von dem Schatten, zu dem ſie gehören, entfernen, alſo hier für die dem Scheitel des von den Schärfen gebildeten kleinen Winkels näheren Punkte eben das ſtatt findet.

Die Farben dieſer Ränder folgen einander ſo, daß das Violett und Blau dem Schatten ſelbſt am nächſten liegt, das Roth am entfernteſten, und eben dieſe Farbenfolge auch in dem ſchwächern zweiten und in dem noch ſchwächern dritten Farbenrande ſtatt findet. Dieſe aus dem weißen Lichte hervorgehende Färbung läßt ſchon vermuthen, daß man auch hier die Erſcheinung einfacher ſehen muß, wenn man die durch das Prisma getrennten Farbenſtrahlen einzeln auf den Zwiſchenraum zwiſchen beiden Metallplatten auffallen läßt; ſchon Newton hat die Verſuche ſo angeſtellt und gefunden, daß unter ſonſt gleichen Umſtänden die Ränder im rothen Lichte am breiteſten, im violetten am ſchmalſten waren. Biot und Pouillet haben dieß noch ſtrenger unterſucht und die Breite der Ränder oder den Abſtand der mehrmals wiederholten Farbenerſcheinungen in eben dem Verhältniſſe gefunden, wie die Anwandelungen oder die ungleiche Länge der Lichtwellen es fordern. So wie bei den Newton'ſchen Farbenringen mehr Ringe ſichtbar werden im einfarbigen Strahle, weil da die Miſchung der Farben nicht den Uebergang in Weiß hervorbringt, ſo werden auch hier im einfarbigen Strahle mehr Farbenränder, aber immer nur einfarbig, ſichtbar, und dieſe ſind durch ganz dunkle Zwiſchenräume getrennt. Fängt man die durch den engen Spalt gegangenen Lichtſtrahlen in hinreichend großer Entfernung auf, ſo folgen die hellen farbigen Streifen ſich ſo in gleichem Abſtande, daß die Mitte jedes Streifens den Entfernungen 3, 5, 7, 9 entſpricht, ſtatt daß die Mitte der dunkeln Streifen auf die Entfernungen 2, 4, 6, 8 fällt; aber dieſe Entfernungen ſind bei den violetten Strahlen nur

63 Hunderttel deſſen, was ſie bei den rothen Strahlen ſind, und genau ſo ſind auch die Wellenlängen des Violett nur $^{167}/_{266} = 0{,}628$ der Wellenlängen des Roth.

Die Verſuche von Biot und Pouillet geben genau an, theils wie die Erſcheinungen ſich ändern, wenn die Weite des Spaltes eine andre wird, theils wie man ſie bei gleicher Weite des Spaltes in ungleicher Entfernung der die durchgegangenen Strahlen aufnehmenden Ebne ſieht; ich glaube aber dieſe Verſuche hier übergehen zu können, da ſie zwar die Verſchiedenheiten der Erſcheinung angeben, aber doch die Erklärung der Erſcheinungen nicht herbeiführen.

Erſcheinungen des Schattens ſchmaler Körper. Erklärung derſelben durch die Undulationstheorie.

Die Emiſſionstheorie hat keine recht genügende Erklärung für alle dieſe Erſcheinungen und ebenſo wenig für diejenigen, die ich bald erwähnen werde, dargeboten; denn wenn man auch die Attractions- und Repulſionskräfte zugeſteht, die an den Grenzen der Körper auf die Lichttheilchen einwirken und dieſe von ihrem Wege ablenken könnten, wenn man auch ferner, was hier nothwendig geſchehen müßte, einen Wechſel dieſer Kräfte in unmerklich kleinen Entfernungen von dem Körper annimmt, ſo wird doch die gegenſeitige Einwirkung der an beiden Seiten des Spaltes durchgehenden Strahlen gar nicht erklärt und auch die ganz gleiche Einwirkung aller Körper bei der Beugung des Lichtes auf keine Weiſe mit ihrer ungleichen Einwirkung bei der Brechung in Verbindung gebracht. Es läßt ſich daher wohl nicht läugnen, daß die Emiſſionstheorie hier einen Mangel zeigt, während gerade einige hieher gehörige Erſcheinungen ſo beſtimmt für die Undulationstheorie zu ſprechen ſcheinen, daß ſie zuerſt Young und Fresnel bewogen, ſich für dieſelbe zu erklären.

Die Verſuche, die am auffallendſten für dieſe Theorie ſprechen, ſind diejenigen, welche die Farbenſtreifen in dem Schatten eines ſehr ſchmalen Körpers betreffen. Ein ſolcher Schatten nämlich zeigt nicht bloß die Ränder an der äußerſten Seite farbig, ſondern, wenn der Körper lang und ſchmal iſt, ſo iſt der Schatten ſelbſt ſeiner ganzen Länge nach in Farbenſtreifen, die mit dunkeln Streifen abwechſeln, zerlegt. Da die Erſcheinungen auch hier am einfachſten ſind, wenn man einfarbiges Licht anwendet, ſo will ich dieſe die ganze Länge des Schattens durchlaufenden Streifen hell und dunkel nennen, ohne jetzt die Farbenordnung, wie ſie bei weißem Lichte entſteht, zu berückſichtigen. Läßt man das Licht durch eine kleine Oeffnung in das dunkle Zimmer einfallen und ſtellt etwa 4 Fuß von dieſer Oeffnung entfernt einen Körper von $^3/_4$ Linie Breite auf, ſo giebt dieſer auf einer 4 bis 5 Fuß entfernten Tafel gar keinen vollkommenen Schatten mehr, ſondern derſelbe iſt aus dunkeln und hellen Streifen zuſammengeſetzt und viel breiter, als er nach dem graden Fortgange der Lichtſtrahlen ſeyn ſollte. Dabei zeigt ſich das Merkwürdige, daß ein an den ſchmalen Körper irgendwo an der einen Seite

angeſetztes breiteres Stück die Geſtalt des Schattens auch an der andern Seite ändert; bleibt dieſe andre Seite grade, ſo erhält der Schatten dennoch eine Einbeugung, ſo daß ſeine Verbreiterung an dieſer Seite von der nahen Grenze der andern Seite des Schattens abhängt, und die hellen und dunkeln Streifen gehen auch an dieſer Seite in eine gleichförmige matte Erleuchtung über. Etwas Aehnliches zeigt ſich, wenn man einen breiteren Körper AB (IX. Fig. 14) ſeinen Schatten auf CD werfen läßt und nun einen Körper E innerhalb des Schattens in die Nähe der Schattengrenze bringt. So lange E nicht da war, bemerkte man bloß, daß der Schatten von C gegen D zu nicht ganz ſchwarz, ſondern von einigen am Rande A einwärts gebeugten Strahlen erhellt war; aber nun treten abwechſelnde dunkle und helle Streifen hervor, die alſo daraus entſtehen müſſen, daß die gebeugten und nun an E vorbei gehenden Strahlen dort abermals abgelenkt werden und durch ihr Zuſammenwirken mit den nach F zu von A ausgehenden Strahlen jene Wechſel von Hell und Dunkel hervorbringen.

Nach der Undulationstheorie läßt ſich alles dieſes auf folgende Weiſe erklären. Indem die Lichtwellen den Rand eines Körpers treffen, gehen von hier die Undulationen nach allen Richtungen fort; vermöge dieſer von C aus nicht bloß nach H (IX. Fig. 12), wohin das directe Licht fällt, ſondern auch nach O zu gehenden Lichtwellen findet auch innerhalb des Schattens eine matte Erleuchtung ſtatt, die jedoch ſchwach iſt, weil die Stärke der Vibrationen von der eigentlichen Schattengrenze an in bedeutendem Maße abnimmt. Iſt aber der Körper CD ſchmal, ſo gehen eben ſolche ſchwache Lichtwellen auch von D aus, und die Erleuchtung in FE hängt von dem Zuſammentreffen dieſer von C ſowohl als von D ausgehenden Lichtwellen ab; in der Mitte des Schattens bei O, wo die Wege der Lichtſtrahlen CO, DO gleich ſind, müſſen dieſe Lichtſtrahlen, wenn der Licht ausſendende Punkt gleich entfernt von C und D liegt, ein verſtärktes Licht hervorbringen, weil die Lichtwellen hier in gleichem, alſo ſich gegenſeitig verſtärkendem Zuſtande ankommen; in G dagegen, wo DG um eine halbe Wellenlänge größer als CG iſt, findet keine Erleuchtung ſtatt, weil die verdichtende Welle von der einen und die zugleich ankommende verdünnende Welle von der andern Seite ſich gegenſeitig zerſtören und die Wirkung, die wir Erleuchtung nennen, aufheben. Daß in einer etwas größeren Entfernung von der Mitte, wo die Differenz der Wege eine ganze Wellenlänge beträgt, wieder verſtärkte Erleuchtung, ferner da, wo die Differenz drei halbe Wellenlängen beträgt, ein Aufheben der Erleuchtung ſtatt findet, erhellt nun leicht, und die Erſcheinung paralleler Streifen von Hell und Dunkel iſt hier vollkommen erklärt. Die eben vorhin erwähnten Verſuche, wonach eine bei D angebrachte Aenderung des Randes auch den Schatten bei E ändert, ſind gleichfalls leicht verſtändlich, und ebenſo läßt ſich (in Fig. 14) überſehen, warum das Zuſammentreffen der von A gradezu nach F und der von A über E nach F gelangenden Lichtwellen bei F die Licht- und Schattenſtreifen hervorbringt.

Die Breite der Zwiſchenräume zwiſchen den hellen Streifen muß offenbar

verſchieden ſeyn nach Verſchiedenheit der Farben, denn da die Wellenlänge der violetten Strahlen geringer als die der rothen iſt, ſo muß bei violettem Lichte der zweite helle Streifen der Mitte näher liegen, und es läßt ſich nun auch angeben, wie bei weißem Lichte die getrennten Farben an einander gereiht ſeyn und Mittelfarben hervorbringen müſſen.

Auch der Umſtand, daß in geringerer Entfernung hinter dem ſchattenwerfenden Körper die dunkeln und hellen Linien näher an einander liegen, iſt ganz dieſen Vorſtellungen gemäß, denn damit G ein Interferenzpunkt ſey, muß DG (IX. Fig. 12) um eine halbe Wellenlänge größer als CG ſeyn, und dazu iſt ein ſehr geringer Abſtand von der Mitte nöthig, wenn die Ebne OG ziemlich nahe hinter CD liegt, ein größerer dagegen, wenn dieſe Entfernung DO größer iſt. Daß übrigens die ganze Erſcheinung ſich nicht allzuweit von der Schattengrenze entfernt wahrnehmen läßt, beruht offenbar auf der ſeitwärts allzuſehr abnehmenden Stärke der Vibrationen, und daher fällt bei dem Schatten eines breiten Körpers dieſe Einwirkung des am andern Rande vorbei gehenden Lichtes weg. Aber nicht bloß dieſe oberflächliche Uebereinſtimmung zwiſchen der Theorie und der Erfahrung findet ſtatt, ſondern die Abmeſſung bei genauen Beobachtungen zeigt, daß die Unterſchiede der Wege DG und CG, ſo ſtreng als die Schärfe der Beobachtung es nur erlaubt, eben die Wellenlängen angeben, die wir ſchon früher aus andern Beſtimmungen gefunden haben.

Eine der allermerkwürdigſten Uebereinſtimmungen zwiſchen der Undulationstheorie und den Erſcheinungen der Beugung hat Arago bekannt gemacht. Wenn man die an dem ſchmalen Körper CD (IX. Fig. 12) vorbei gegangenen Strahlen, welche bei EOF die Streifen im Schatten hervorbringen, etwa bei I ſo durch ein ſehr durchſichtiges Glas gehen läßt, daß die von D kommenden Strahlen durch das Glas gehen, während die von C kommenden ungehindert nach EF gelangen, ſo ändert ſich die Lage der dunkeln und hellen Streifen, wenn das Glas ſehr dünn iſt, und ſie verſchwinden ganz, wenn es dicker iſt. Dieſe Aenderung der Lage iſt der veränderten Wellenlänge im Glaſe entſprechend; denn da die Wellen im Glaſe kürzer ſind, ſo muß man darauf Rückſicht nehmen, daß drei Wellen im Glaſe nur ungefähr ſo viel Länge haben, als zwei in der Luft, daß alſo nicht mehr eine helle Linie in der Mitte den gleichen Wegen entſprechen kann, ſondern daß man die Länge des Weges nun in Beziehung auf die im Glaſe vermehrte Wellenzahl berechnen muß.

Erklärung der übrigen Erſcheinungen nach dieſer Theorie.

Eine ähnliche Betrachtung findet für die hellen und dunkeln Ränder, welche den Schatten von außen umgeben, ſtatt. Nach H fallen offenbar (Fig. 12) directe Lichtſtrahlen, aber auch die an C erzeugten Lichtwellen verbreiten ſich dorthin und verſtärken das Licht in H, wenn die in H zugleich antreffenden Lichtwellen gleichartig ſind, ſtatt daß ſie eine Schwächung, eine Interferenz hervorbringen, wenn die Lichtwellen in ungleichartigen Zuſtänden

zuſammentreffen. Die Wechſel von Licht= und Schattenlinien, die den Schatten umgeben, erklären ſich hieraus; aber auch die genaue Lage, in welcher dieſe ſich finden, muß die Theorie erklären, und hiebei finden ſich manche Schwierigkeiten. Innerhalb des Schattens waren es, wenigſtens wenn die Lichtwellen in genau gleichem Zuſtande in den beiden Endpunkten C, D des Körpers ankamen, gewiß gleichartige Wellen, die von C und D (Fig. 12) ausgingen, und in der Mitte bei O muß alſo, wenn die Strahlen bloß in der Luft fortgehen, Erleuchtung ſeyn; aber die directe Welle, die von A aus nach H kömmt, und die von C ausgegangene können gar wohl Verſchiedenheiten darbieten. Wenn A auch ein einziger Lichtpunkt iſt, ſo können wir doch nicht unbedingt behaupten, die um eine halbe Wellenlänge weiter als C gelangte directe Welle ſey in eben dem Zuſtande, wie die von C aus um eine halbe Wellenlänge vorgerückte; und die Beobachtung zeigt, daß dieſes Bedenken gegründet iſt. Um nämlich die richtige Lage der erſten dunkeln, der erſten hellen Linie und ſo ferner für die äußere Begrenzung des Schattens ſo zu erhalten, wie es die Beobachtung fordert, iſt man genöthigt anzunehmen, daß beim Antreffen an C eine halbe Undulation verloren geht, das heißt, wenn man um den leuchtenden Punkt A, den ich hier als den einzigen Lichtpunkt anſehe, einen Kreis mit dem Halbmeſſer AC zieht und dann Kreiſe um A beſchreibt, die immer um eine halbe Wellenlänge weiter gehen, ſo iſt die verdichtende Welle um eine ganze Wellenlänge über C hinaus, während die neue von C ausgehende verdichtende Welle ſich erſt um eine halbe Wellenlänge von C entfernt hat; wenn man alſo die Wege AH und ACH vergleicht, ſo findet die verſtärkte Erleuchtung da ſtatt, wo dieſe Wege um eine halbe Wellenlänge verſchieden ſind.

Wenn man bei dieſen, den Schatten von außen umgebenden Licht= und Schattenlinien die Beobachtung ſo anſtellt, daß man die Tafel HF allmälig nach h f rückt oder auch ſie allmälig entfernt, ſo ergiebt ſich in jeder Stellung der Abſtand des erſten hellen Randes H von der Schattengrenze, und wenn man dieſen Abſtand in H, in h und ſo in mehreren Entfernungen von dem die Beugung hervorbringenden Punkte C ſucht, ſo ſcheint es, als ob man den gebeugten Lichtſtrahl verfolge, indem man den ſich verſtärkenden Wellen gleichſam von Punkt zu Punkt nachgeht. Die Berechnung der Lage dieſer Durchſchnittspunkte der ſich verſtärkenden Wellen giebt an, wo nach der Undulationstheorie dieſe hellen Punkte liegen oder welchen Gang die gebeugten Strahlen anſcheinend nehmen müſſen, und die Erfahrung ſtimmt hiemit überein. Wenn ich alſo in der Folge von dem Gange der gebeugten Strahlen zu reden Veranlaſſung finde, ſo bitte ich Sie, dieß nur als einen abgekürzten Ausdruck für das, was ich ſo eben erklärt habe, anzuſehen.

Schwieriger werden die theoretiſchen Unterſuchungen da, wo das Licht durch einen engen Spalt geht. Es iſt hier einleuchtend, daß das directe Licht durch die von beiden Rändern des Spaltes ausgehenden Lichtwellen verſtärkt oder geſchwächt wird, je nachdem es die gleichen oder die ungleichen Wellentheile

ſind, die zuſammentreffen. Fresnel giebt einige Anleitung, um auch hier die hellen und dunkeln Streifen zu beſtimmen, aber es ſcheint mir, daß hier die Schwierigkeiten der Erklärung noch nicht ganz überwunden ſind. Indeß, wenn AB (IX. Fig. 15) den Spalt vorſtellt, ſo erhellt, daß auch hier innerhalb des eigentlichen Schattens, der durch BD an der einen und AC an der andern Seite begrenzt wird, eine Erſcheinung von Licht- und Schattenlinien ſtatt finden muß, daß nämlich E, F dunkle Punkte zeigen werden, wenn hier der Unterſchied der Wege AE, BE oder AF, BF eine oder drei oder fünf halbe Wellenlängen beträgt, helle dagegen, wenn er eine oder drei oder fünf ganze Wellenlängen beträgt. Je enger der Spalt wird, deſto tiefer wird hier die Lichterſcheinung in den Schatten hineinrücken, und die Farbenſtreifen, ſo wie die Beobachtung ſie wirklich zeigt, werden alſo dem Weſentlichen nach vollkommen gut erklärt.

Noch einen Umſtand muß ich erwähnen, der günſtig für die Theorie der Undulationen iſt, nämlich daß die lichten Streifen im Schatten eines ſchmalen Körpers ihre Stelle ändern, wenn der leuchtende Punkt ſeine Stelle ändert, und daß dieſes den Längen der Wellen gemäß geſchieht. Um dieſe Beobachtung zu machen, muß man möglichſt genau nur von einem Punkte die Lichtſtrahlen ausgehen laſſen, und daher bedient man ſich ſtatt einer ſehr kleinen Oeffnung lieber einer Linſe von ſehr kurzer Brennweite. Fängt nämlich dieſe auch die Strahlen von allen Punkten der Sonne auf, ſo vereinigt ſie doch dieſelben in einem ſehr engen Raum, von wo ſie, wie von einem einzigen Punkte, ſich von neuem ausbreiten; bei einer Brennweite von $1/4$ Zoll hat dieſer enge Raum, das Bild der Sonne, nur $1/40$ Linie im Durchmeſſer, was allerdings in Vergleichung gegen die Länge einer Lichtwelle noch keinesweges klein iſt.

Inflexioſcop.

Dieſe Anwendung einer Linſe von kurzer Brennweite giebt auch ein Mittel, um die Beugungs-Erſcheinungen ohne ein verdunkeltes Zimmer zu ſehen. Man nimmt eine Röhre, etwa von Pappe gemacht, deren eines Ende durch eine eingeſetzte Glaslinſe und ihre Faſſung völlig geſchloſſen iſt. Am andern Ende bringt man eine oder mehrere ähnliche Röhren zum Herausziehen an, und am Ende dieſer iſt eine Linſe von nicht allzugroßer Brennweite, von 1 bis 2 Zoll Brennweite, befeſtigt. In einer nicht zu geringen Entfernung von der erſten Linſe wird der Gegenſtand befeſtigt, in deſſen Schatten oder an deſſen Begrenzung man die Beugungsphänomene ſehen will, eine feine Nadel zum Beiſpiel, und man beobachtet nun dieſe Erſcheinungen, indem man die Röhre mit dem Ende, wo die Linſe von kurzer Brennweite iſt, nach der Sonne zu ſo wendet, daß der hineindringende Lichtſtrahl auf jenen Gegenſtand fällt. Da man die Stellung der zweiten Linſe, die als Augenglas dient, verändern kann, ſo kann man erſtlich den Gegenſtand ganz ſcharf ſehen, wenn er im Brennpunkte des Augenglaſes ſteht, aber zweitens, wenn man das Augenglas mehr entfernt, ſieht man jedesmal diejenigen Erſcheinungen, die in dem Brennpunkte

des Augenglaſes ſtatt finden. Iſt es alſo eine Nadel, die die Strahlen empfängt, ſo ſieht man dieſe ihrer ganzen Länge nach in helle und dunkle, im freien Sonnenlichte in farbige Streifen getheilt. Iſt es ein enger Spalt, der an einem Ende ſich ſehr ſchmal zuſammenzieht, ſo ſind es die Farbenränder, die ich oben für dieſen Fall beſchrieben habe, und ſo gilt es für alle ähnliche Fälle. Dieſe Vorrichtung iſt dem Weſentlichen nach die von Mayer unter dem Namen Inflexioſcop beſchriebene.

Viel vollkommener wird eben der Zweck nach Fraunhofer's Einrichtung erreicht, wo man den Schirm oder die Oeffnung, wodurch die Beugung des Lichtes bewirkt wird, unmittelbar vor dem Objectiv eines Fernrohrs anbringt und nun durch das die Sonnenſtrahlen auffangende Fernrohr ſieht. Fallen die Sonnenſtrahlen durch eine 15 bis 20 Fuß entfernte ſchmale Oeffnung ein und hat man das Fernrohr ſo geſtellt, daß es dieſe Oeffnung deutlich zeigt, ſo ſieht man, wenn ein Schirm mit ſehr engem Spalt vor das Objectiv geſtellt wird, in der Mitte einen weißen Streifen, der aber an den Seiten Farbenbilder, die das Roth am weiteſten von der Mitte entfernt zeigen, neben ſich hat. Sind es mehrere kleine Oeffnungen, durch welche die Sonnenſtrahlen auf das nahe hinter denſelben ſtehende Objectiv fallen, ſo ſieht man eine große Menge ſchöner Farbenbilder. Um eine Oeffnung zeigen ſich Ringe u. ſ. w.

Erſcheinungen der Beugung bei Strahlen, die durch mehrere enge Zwiſchenräume oder Gitter gehen.

Ich gehe zu einer andern Erſcheinung über, die ſich uns oft zeigt und die ganz nach denſelben Grundſätzen erklärt wird. Wenn wir mit nahe an einander gebrachten Augenlidern, ſo daß die Lichtſtrahlen nur zwiſchen den Augenwimpern durchgehend zum Auge gelangen, eine Lichtflamme anſehen, ſo zeigt ſich uns neben ihr zunächſt an jeder Seite ein Bild der Flamme ohne Farben, dann aber eine Reihe Farbenbilder, die ihr Violett der Flamme ſelbſt zugewandt darbieten. Noch ſchöner ſieht man die Erſcheinung, wenn man durch ein ſehr feines und ſehr gleichförmiges Gewebe ſieht, zum Beiſpiel durch ein Florband; hier ſind die Farben an den ſeitwärts liegenden Bildern recht ſchön, und man kann ſich auch leicht überzeugen, daß da, wo nur einfarbiges Licht auffällt, auch hier die Erſcheinung andrer Farben wegfällt.

Fraunhofer hat über die Erſcheinung eine eigne und genaue Reihe von Verſuchen angeſtellt. Wenn man das Sonnenlicht durch eine ſchmale Oeffnung, etwa von einem Hunderttel Zoll, einfallen läßt, und das Fernrohr ſo ſtellt, daß man dieſe Oeffnung ſcharf ſieht, dann aber ein aus parallelen nach einer einzigen Richtung gezogenen Linien beſtehendes Gitter vor das Objectivglas bringt, ſo ſieht man erſtlich jenen ſchmalen Spalt deutlich und ohne Farben, zweitens an jeder Seite deſſelben einen dunkeln Raum, an welchen ein zweites Bild grenzt, das ſein Violett gegen die Mitte der ganzen Erſcheinung oder gegen jenes erſte Bild wendet; daran ſtößt drittens an beiden Seiten ſymmetriſch ein dunkler Raum und dann ein neues doppelt ſo breites Farbenbild,

worin wieder das Violett dem vorigen Bilde zugewandt iſt und das Roth ſich an der andern Seite zeigt; viertens grenzt hieran ein neues Farbenbild, das aber ſchon ſein Violett mit dem Roth des vorigen miſcht, und ſo folgen noch mehr Bilder, bei denen die Miſchung noch ſtärker eintritt. Dieſe Farbenbilder werden am breiteſten und haben die reinſten Farben, wenn die Linien, welche das Gitter bilden, recht fein und eng an einander ſind; ſie fordern, um ſchön zu erſcheinen, eine ganz genaue Gleichförmigkeit. Sind die Zwiſchenräume zwiſchen den Linien und iſt die Dicke der Linien ſelbſt ungleich, ſo zeigt ſich ein nicht mehr farbiger Schweif an beiden Seiten des hellen Raumes und ebenſo an beiden Seiten einer Lichtflamme; denn da den weiter von einander abſtehenden Linien eine enger an einander gereihte Folge von Bildern entſpricht, den nähern Linien weiter entfernte Bilder, ſo fallen die den ungleichen Abſtänden entſprechenden Bilder auf einander und zeigen den hellen Streifen, den wir auf einer unreinen Glastafel zu ſehen gewohnt ſind, wenn wir auf dieſer parallele Züge, etwa mit dem Finger oder einem Tuche, gemacht haben und dann eine Lichtflamme durch ſie anſehen. Um Gitter, die vermöge vollkommener Parallellinien recht ſchöne Farbenbilder zeigten, zu erhalten, wandte Fraunhofer theils mit Diamant in Glas eingeritzte, mit Hülfe einer genau theilenden Maſchine in gleichen Abſtänden gezogene Linien an, theils belegte er die Gläſer mit Gold und radirte hierauf Parallellinien, die dann freie Zwiſchenräume zwiſchen den undurchſichtigen ſehr feinen Goldlinien darboten. Jeder dieſer feinen Zwiſchenräume geſtattet nun dem Lichte den Durchgang, und das verſtärkende oder ſchwächende Zuſammentreffen der Lichtwellen iſt es, wodurch auch hier die Nebenbilder des einen leuchtenden Gegenſtandes entſtehen. Stellt man dieß zuerſt ſo dar, wie es ſich dem bloßen Auge zeigt, ſo iſt Folgendes einleuchtend. Von jeder undurchſichtigen Linie gehen Lichtwellen nach allen Richtungen aus, und da, wo dieſe mit dem zwiſchen den Linien durchgegangenen Lichte verſtärkend zuſammenkommen, würde eine hellere Erleuchtung ſtatt finden. Dieſe Orte verſtärkter Erleuchtung liegen in einer faſt genau graden Linie; wenn alſo das Auge von einem derſelben zum andern fortrücken könnte, ſo würde es immer das verſtärkte Licht erhalten, es würde alſo dem verſtärkten Lichtſtrahle zu folgen glauben. Auf dieſe Weiſe beſtimmt ſich die Richtung des gebeugten Lichtſtrahles nach ähnlichen Geſetzen wie früher, und es wird nun bequem für den Ausdruck, zu ſagen, von jedem Faden A oder a des Gitters geht ein erſter, ein zweiter, ein dritter gebeugter Strahl, ſo wie AB, AC, AD (IX. Fig. 16) andeuten, aus; eigentlich ſollte es heißen, in AB liegt die erſte Folge aller verſtärkend zuſammentreffenden Wellen, in AC die zweite Reihe und ſo ferner; ab, ac, ad bedeuten eben das für einen andern Faden oder für eine andre undurchſichtige Linie des Gitters.[1] Dieſe ſich verſtärkenden Lichtwellen gewähren alſo dem Auge in B die Empfindung

[1] Fraunhofer bemerkt, es ſey nicht nöthig, daß das Gitter aus undurchſichtigen Fäden oder Linien beſtehe, ſondern Glasfäden leiſten eben das; aber um eine immer gleiche, wiewohl nicht beſtimmt die Hauptſache ausdrückende Bezeichnung zu wählen, behalte ich den Ausdruck bei.

eines nach der Richtung **AB** zu ihm gelangenden Lichtſtrahles, alſo eines um den Winkel **SBA** von dem leuchtenden Punkte entfernten Nebenbildes. Befindet das Auge **B** ſich zugleich in der Richtung des Strahles **ac**, den wir als zweiten gebeugten von **a** kommenden Strahl anſehen dürfen, ſo zeigt ſich in dem Winkelabſtande **SBa** ein zweites Nebenbild und auf ähnliche Art ein drittes in der Richtung **B**α. Das Auge **B** wird in jeder Stellung dieſe Nebenbilder ſehen, denn wenn **ac** nicht grade auf **B** zu ginge, ſo würde von einem näher bei **A** oder entfernter von **A** liegenden Faden her der mit **ac** oder **AC** parallele gebeugte Strahl das Auge treffen.

So entſtehen Nebenbilder an beiden Seiten des leuchtenden Punktes **S**, und da die Richtung der gebeugten Strahlen deſto ſtärker abgelenkt iſt, je näher an einander die Fäden liegen, ſo erhellt erſtlich, daß bei ſehr feinen Gittern die Nebenbilder weit vom Hauptbilde entfernt ſtehen, zweitens, daß dieſe Nebenbilder verwirrt werden, wenn das Gitter nicht aus vollkommen gleichen und vollkommen gleich entfernten Fäden beſteht. Jede Farbe hat, wie Sie wiſſen, ihren eignen Abſtand oder ihre beſtimmte Richtung bei der Beugung, und die Nebenbilder eines weißen Lichtes erſcheinen alſo farbig und mit deſto ſchöner getrennten Farben, je feiner das Gitter und je gleichförmiger es iſt; bei ungleichförmigen Streifen vermiſchen ſich die Farben und geben nur Weiß.

Eine Bemerkung muß ich hier noch beifügen. Nach Fraunhofer's Anleitung bedient man ſich des Fernrohrs, und ſieht dann die Farbenbilder mit ganz vorzüglicher Schönheit; es läßt ſich leicht einſehen, daß man ſie da auch deutlich ſieht, weil die parallel einfallenden Strahlen **AC**, **ac**, $\alpha\gamma$ ſich ebenſo, als ob ſie von einem ſehr entfernten Punkte kämen, zu einem Bilde vereinigen und man alſo jedes der Nebenbilder mit ſehr verſtärktem Lichte und unter einem größern Sehewinkel ſieht.

In der neueſten Zeit hat Schwerd zahlreiche Verſuche über die Beugung des Lichtes angeſtellt, bei denen er ſich gewöhnlich eines Taſchenuhr=Glaſes bediente, das er auf der innern Seite mit einer Asphaltauflöſung oder einer aus Lampenruß und Bernſteinfirniß gemachten Farbe beſtrich und mit der äußern oder convexen Seite der Sonne zuwendete. In 10 bis 20 Schritten Entfernung war ein kleines Fernrohr (von 8 Zoll Länge) aufgeſtellt und unmittelbar vor dem Objective deſſelben ein Schirm befeſtigt, durch deſſen Oeffnungen er mittelſt des Fernrohrs das auf dem Uhrglaſe entſtehende Sonnenbildchen betrachtete, welches ſelbſt im unverfinſterten Zimmer hinreichende Helligkeit hatte. Beobachtet man ohne Fernrohr, ſo muß das Auge von dem Uhrglaſe immer in der Entfernung des deutlichen Sehens gehalten werden. In dem letztern Falle hielt Schwerd zwei oder mehrere mit kleinen Spalten verſehenen Stanniolblättchen vor das Auge, und je nachdem dieſelbe eine oder mehrere, dreiſeitige, vierſeitige, runde u. ſ. w. Oeffnungen darboten, fielen die Erſcheinungen ſehr verſchieden aus. Eine kleine kreisförmige Oeffnung gab ein aus concentriſchen Ringen beſtehendes Bild, zwei und drei Oeffnungen

dieſer Art gaben Bilder, die aus concentriſchen Kreiſen mit parallelen verticalen Linien beſtanden. Eins der ſchönſten Bilder erhielt Schwerd, indem er eine Reihe feiner gradliniger und paralleler Stäbe in einen Rahmen befeſtigte und mit einem zweiten ähnlichen Rahmen bedeckte, ſo daß die Stäbe des einen mit denen des andern irgend einen Winkel bildeten (am beſten einen rechten). Alles dieſes bezieht ſich zunächſt auf Licht von einer einzigen Farbe; enthält das Licht mehrere Farben, ſo erzeugt jede ihr eigenes Bild, wobei die rothen Bilder die größten, die violetten die kleinſten ſind; vereinigt das durch die Oeffnungen dringende Licht alle Farben des Sonnenlichtes, ſo vereinfachen ſich dieſe Bilder, wobei die Schönheit und Deutlichkeit derſelben ſehr vermindert wird.

Höfe um Sonne und Mond.

Nebenbilder der vorhin betrachteten Art ſind es, die wir in den Höfen um den Mond ſehen. Es iſt bekannt, daß der Mond, wenn er durch dünne Wolken ſcheint, oft von einem unſcheinbaren, manchmal aber auch von einem ſehr ſchönen kleinen Hofe umgeben iſt. Daß dieſe Höfe durch kleine Dunſtbläschen hervorgebracht werden, davon kann man ſich am beſten überzeugen, wenn man eine recht reine Glasſcheibe leicht anhaucht und dann durch ſie nach einem entfernten Lichte ſieht; das Licht iſt dann von einem Hofe, der nahe am Lichte blaulich weiß iſt und ſich in Gelb und Roth endigt, umgeben, und dieſer Hof iſt deſto größer und ſchöner, je feiner die angehauchten Dunſttheilchen ſich angelegt haben; bei ſtarkem Anhauchen, wo ſchon größere und ungleiche Thautropfen ſich anlegen, geht der farbig begrenzte Hof in eine blaß erhellte Umgebung des leuchtenden Punktes über, ſo wie durch ein minder gleiches und nicht ſo feines Gewebe ſich auch nur ein erhellter Raum um das Licht oder neben dem Lichte darſtellt, ſtatt der ſchönen Farbenbilder, die man bei einem feinen und ganz gleichen Gewebe ſieht.

Wenn dieſe kleinen Höfe um den Mond recht ſchön ſind, ſo bieten ſie mehrere Farbenkreiſe dar, indem das ihn umgebende reine Weiß in einiger Entfernung in ein blauliches Weiß übergeht, woran ein gelber und dann ein rother Ring grenzt; dieſer wird von Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth, als zweiter Farbenfolge, dieſe von einer dritten, meiſtens nur aus Grün, verwaſchenem Gelb und Roth beſtehenden Farbenfolge umgeben, und es kann ſich hieran noch eine Farbenfolge, beſtehend aus Grün und Roth, anſchließen. Da die Dunſttheilchen ſehr gleichmäßig an Größe und Entfernung ſeyn müſſen, wenn die Erſcheinung recht vollkommen hervorgehen und recht große Höfe darbieten ſoll, ſo iſt dieſelbe in ihrem vollen Glanze ſelten, und oft, wenn die dünnen Wölkchen, die Howard cirro-stratus nennt, am Monde vorbeiziehen, nur auf die Dauer weniger Minuten beſchränkt. Um die Sonne ſieht man dieſe Höfe ſelten, weil ihr helles Licht das Auge zu ſehr blendet und die Höfe nicht mehr ſchön ſind, wenn der Wolkenſchleier zu dicht iſt; aber wenn man an ſolchen Tagen, wo recht zarte Wölkchen vor der Sonne

vorbeiziehen, Gelegenheit nimmt, die Sonne im Waſſer zu ſehen, ſo ſieht man ſehr oft ſchön gefärbte Stücke dieſer Höfe, wenn es gleich ſelten iſt, daß man die ganzen Höfe wahrzunehmen Gelegenheit hat. Die Farben ſind bei der Sonne viel glänzender als bei dem Monde und haben oft eine große Reinheit.

Die Halbmeſſer der Ringe geben uns ein Mittel, uns über die Kleinheit der hier wirkſamen Dunſttheilchen zu belehren, und wenn man nach Beobachtungen jener Halbmeſſer rechnet, ſo findet man die Größe der Dunſttheilchen von $^1/_{2000}$ bis $^3/_{2000}$ Zoll wechſelnd.

Auf ähnliche Weiſe erklärt man die Höfe, die man zuweilen um den Schatten des eignen Kopfes im Nebel geſehen hat. Scoresby hat ſie in den dichten und eine niedrige Schicht bildenden Polarnebeln geſehen, wenn er ſich auf der Spitze des Maſtes oberhalb der dichteſten Nebelſchicht befand. Dagegen iſt eine ſehr oft vorkommende Erſcheinung, die ich bei dieſer Gelegenheit erwähnen will, nicht ganz hieher zu rechnen. Man ſieht nämlich bei ſehr niedrigem Stande der Sonne oft um den Schatten ſeines eignen Kopfes einen hellen Schein, der ſich beſonders über den obern Theil des Schattens weiter fort zu erſtrecken pflegt. Dieſer Schein iſt am beſten ſichtbar, wenn der Schatten auf eine mit Gras bedeckte Ebne fällt, vor allem wenn die Gewächſe mit Thautropfen bedeckt ſind. Hier ſcheint die Urſache des Glanzes theils darin zu liegen, daß man den Spiegelglanz zugleich von der Oberfläche und von der Rückſeite der Thautropfen ſieht, wenn man in einer der Sonne entgegengeſetzten Richtung auf die Thautropfen blickt, theils trägt auch die Erleuchtung, vorzüglich der cylindriſchen Grashalme, zu der Erſcheinung bei, indem man die völlig erleuchtete Seite am beſten neben der Stelle ſieht, wo der Schatten des Kopfes hinfällt, während die mehr ſeitwärts liegenden Halme uns einen großen Theil ihrer dunkeln Seite zeigen, und da die oberhalb unſers Schattens liegenden cylindriſchen Körper uns alle ihre ganz erleuchtete Seite zeigen, ſo erſtreckt der Schein ſich höher über das Ende unſers Schattens hinauf. Wenn man an höhern Gegenſtänden, zum Beiſpiel an den Halmen eines Strohdaches, dieſen Schein ſieht, ſo kann der zurückgeworfene Glanz der Sonne vom bethauten Graſe bewirken, daß er ſich noch höher über den Schatten des Kopfes hinauf erſtreckt. Dieſe Erklärung ſcheint mir für die allermeiſten Fälle ganz ausreichend; möglich iſt es indeß, daß auch hier, wenn ſehr zahlreiche feine Thautropfen an den Härchen der Pflanzen haften, ein durch Beugung der Lichtſtrahlen entſtandener Hof ſich mit dieſer Erſcheinung vereinigt. Daß jeder dieſen Schein nur um ſeines eignen Kopfes Schatten und allenfalls nur noch um den Schatten eines dem eignen Auge ſehr nahen Gegenſtandes ſieht, läßt ſich leicht erklären.

Nebenbogen am Regenbogen.

Noch eine Erſcheinung muß ich hier erwähnen, die hieher zu gehören ſcheint, wenn man gleich noch nicht ganz einig über ihre Urſache iſt. Man

ſieht ſehr oft an der unteren Seite des Hauptregenbogens die Farben Grün und Violett mehrmals wiederholt, und dieſe Wiederholung zeigt ſich nur an dem höchſten Theile des Bogens, ohne ſich an ſeinen Schenkeln bis zur Erde herab zu erſtrecken. Venturi hat dieſe Erſcheinung aus einer abgeplatteten Form der Regentropfen erklärt, indem er ganz richtig zeigt, daß Tropfen, die mehr breit als hoch ſind, einen niedrigern Farbenbogen darſtellen müſſen; aber ſo richtig dieſes iſt, ſo müßte man, wie es mir ſcheint, Regentropfen von ſo vielen beſtimmten Formen, als es die Anzahl dieſer wiederholten Bogen fordert, annehmen, und dürfte nicht zugeſtehen, daß zwiſchen ihnen Uebergänge ſtatt fänden; dieſes ſcheint jedoch um ſo minder glaublich, da es außer den Kugeltropfen, die den Hauptbogen darſtellen, wenigſtens noch zwei andre beſtimmte Formen geben müßte, um die zwei ſo oft deutlich ſichtbaren Farbenwiederholungen zu geben. Möglich wäre es übrigens, daß die durch den Widerſtand der Luft beſtimmte Geſtalt der Regentropfen einen Grund für die zur Entſtehung mehrerer Bogen nöthige Form enthielte.

Indeß, obgleich wir über die ganz genaue Form der Regentropfen nicht unterrichtet ſind, ſo ſcheint es mir doch glaublicher, daß man die Wiederholung der Farben Grün und Violett, die ſogar öfter als zweimal vorkommen zu können ſcheint, aus einem andern Umſtande erklären müſſe. Wenn nämlich zur Zeit des Entſtehens eines Regenbogens zugleich ein hinreichend lebhafter Farbenring, ein Hof um die Sonne erſchiene, ſo müßten Nebenbogen erſcheinen, und zwar vorzüglich an der innern Seite und aus Grün, Blau und Violett beſtehend. Um dieß zu überſehen, muß ich Sie zuerſt daran erinnern, daß der rothe Bogen des Hauptregenbogens $42\frac{1}{2}$, der violette Bogen $40\frac{1}{2}$ Grad, alſo der grüne etwa $41\frac{1}{2}$ Grad Halbmeſſer hatte; und nun können wir fragen, wie würden ſich die Erſcheinungen verhalten, wenn oberhalb und unterhalb der Sonne zuerſt nur kleine Theile farbiger Ringe ſtänden? Ich will für dieſe Ringe die Abſtände $= 1^\circ$ für das erſte Roth, $1\frac{1}{4}^\circ$ für das erſte Grün, $1\frac{1}{2}^\circ$ für das erſte Violett, $1\frac{3}{4}^\circ$ für das zweite Roth annehmen und dieſe Theile der Ringe als kleine farbige Sonnen oberhalb und unterhalb der wahren Sonne anſehen. Stellen nun (**IX. Fig. 17**) ab, cd, ef die drei genannten Farben des Hauptbogens dar, ſo giebt die obenſtehende rothe Sonne einen rothen Bogen, der 1 Grad tiefer als ab liegt, die zweite oben ſtehende rothe Sonne einen Bogen, der $1\frac{3}{4}$ Grad tiefer als ab liegt; beide fallen in den Hauptbogen und ſind zu ſchwach, um ſich dort kenntlich zu machen. Der grüne Bogen der erſten oberen grünen Sonne liegt $1\frac{1}{4}$ Grad, der der zweiten oberen grünen Sonne etwa 2 Grad unter cd, alſo beide ſchon außerhalb des Hauptbogens bei gh; die violetten Bogen liegen $1\frac{1}{2}$ Grad und $2\frac{1}{4}$ Grad unter dem violetten Bogen; es iſt alſo der erſte grüne Bogen unter dem violetten Hauptbogen kenntlich, der erſte violette Bogen unter dem erſten grünen, der zweite grüne nahe unter dem erſten violetten, der zweite violette noch tiefer. Sieht man dagegen auf die unterhalb der Sonne ſtehenden Theile des Hofes, ſo geben dieſe Nebenbogen oberhalb des Hauptbogens den erſten rothen 1 Grad

über ab, den erſten grünen $1\frac{1}{4}$ Grad über cd, den erſten violetten $1\frac{1}{2}$ Grad über ef, den zweiten rothen $1\frac{3}{4}$ Grad über ab, den zweiten grünen 2 Grad über cd, das iſt, 1 Grad über ab, alſo mit dem erſten rothen zuſammenfallend, wodurch beide unkenntlich werden; den zweiten violetten finden wir $2\frac{1}{4}$ Grad über ef mit dem erſten grünen zuſammenfallend. Und ſo wie hier ungefähr der zweite grüne Bogen den erſten rothen zerſtört oder unkenntlich macht, ſo findet es für den dritten grünen und zweiten rothen Bogen wieder ſtatt. Es iſt alſo ein guter Grund vorhanden, warum oben kein Nebenbogen ſich zeigt, während unten allenfalls nur der dritte rothe Nebenbogen ſich mit dem erſten violetten miſchen könnte, woraus wegen des allmälig ſchwächern Lichtes der entfernteren Höfe kein völliges Zerſtören hervorgehen kann. So ſchiene ſich alſo das Entſtehen von zwei innern Nebenbogen aus Grün und Violett gut zu erklären, wenn bloß oberhalb und unterhalb der Sonne jene Theile der Höfe vorkämen; da aber ſtatt deſſen ganze farbige Ringe angenommen werden müſſen, ſo ſollten ſich eigentlich unzählige, ſo wie gh, ik, lm in einander verlaufende grüne und eben ſolche violette Bogen bilden, und es ſcheint mir ganz richtig, daß der vereinte Glanz derſelben einen mit ef gleichlaufenden Bogen bildet. Der einzige Umſtand, der unerklärt bliebe, wäre alſo, warum dieſe Nebenbogen ſich nicht ganz bis zu dem untern Theile des Regenbogens herab erſtrecken.

Farbenerſcheinungen durch Zurückwerfung.

Auch durch die Zurückwerfung des Lichtes entſtehen Farbenerſcheinungen, die auf ähnliche Weiſe, wie bei der Beugung, von Interferenzen abhängen. Sehr bekannt ſind die feinen farbigen Sonnenbilder, die wir an Haaren oder Spinnefäden, zuweilen auch an Clavierſaiten, und in vielen andern Fällen ſehen. Noch ſchöner zeigen ſie ſich, wenn man ſpiegelnde Flächen durch ſehr eng an einander eingeriſſene feine Linien in völlig gleiche Theile eingetheilt hat, indem dieſe Flächen dann bald das rothe, bald das grüne, bald das violette Licht zurückwerfen, ſo wie es die verſchiedenen Einfallswinkel fordern.

Um dieſe Farbenerſcheinungen zu erklären, müſſen wir auf die beim Antreffen des Lichtes an einen andern Körper entſtehenden Lichtwellen zurückgehen, die nämlich von jedem Punkte der Spiegelfläche ausgehen. Iſt hier die ganze Fläche AB (IX. Fig. 18) gleich gut geeignet, die Lichtwellen zu erregen, ſo entſteht auf die früher gezeigte Weiſe die regelmäßige Reflexion; aber wenn dagegen nur ein ſehr kleiner Raum D, ſo klein, daß er ſelbſt in Vergleichung gegen die Kleinheit der Lichtwellen nicht erheblich iſt, die Eigenſchaft Lichtwellen zu erregen beſitzt, ſo werden von D nach allen Seiten Lichtwellen ausgehen und es wird keine beſtimmte Richtung des reflectirten Strahles ſtatt finden. Giebt es neben D, aber ſo, daß dazwiſchen eine zu Zurückſendung der Lichtwellen untaugliche Stelle iſt, einen zweiten die Lichtwellen zurückgebenden ſehr kleinen Raum d, ebenſo einen dritten e und ſo ferner, ſo werden die Lichtwellen, von dieſen getrennt liegenden Punkten ausgehend, dem

Auge, das in einem Punkte gegenſeitiger Verſtärkung ſteht, eine Lichterſcheinung geben, demjenigen Auge dagegen, das in einem Punkte gegenſeitig zerſtörender Interferenz ſteht, ein Dunkel darbieten. Man müßte alſo die um D, d, e entſtehenden Lichtwellen zeichnen, und wenn hier C die Lichtquelle iſt, diejenigen Durchſchnittspunkte F ſuchen, wo die Summe der Wege CD, DF zuſammen um eine ganze Wellenlänge von der Summe der Wege Cd, dF verſchieden iſt; ein ſolcher Punkt F wäre dann für die Lichterſcheinung geeignet, dagegen bei dem Unterſchiede der Wege gleich einer halben, gleich drei halben, gleich fünf halben Wellenlängen ſähe ein in dieſer Stellung befindliches Auge ein Dunkel. Die Stellungen des Auges, die einer Lichterſcheinung angemeſſen ſind, liegen alſo offenbar anders für die violetten Strahlen als für die rothen, ſie liegen anders für die um zwei Wellenlängen verſchiedenen Wege, als für die um eine Wellenlänge verſchiedenen u. ſ. w. Eine Betrachtung, der vorhin für Gitter geführten ganz ähnlich, zeigt, daß man mehrere dieſer Farbenbilder zugleich, aber nach verſchiedenen Richtungen, ſehen kann, und daß ſie deſto ſchöner farbig erſcheinen müſſen, je enger an einander und je gleichmäßiger dieſe lichtzurückwerfenden Theile liegen.

Um dieſe Farben auf gefurchten Flächen bequem zu ſehen, hat Hoffmann ein eignes Inſtrument angegeben, das er Chromadot (Farbengeber) nennt, wo eine mit feinen und gleich weit aus einander ſtehenden Linien gefurchte Stahlplatte das Licht nur durch eine ſchmale Oeffnung empfängt; ein Rohr, vor welchem man das Auge hält, weiſt dieſem ſeinen richtigen Platz an, und man ſieht nun, wenn man die Neigung der Stahlplatte nach und nach ändert, ſehr ſchöne Farbenfolgen erſcheinen.

Beſitzt man ſolche gefurchte Flächen oder die oben beſchriebenen, zum Durchlaſſen der Strahlen eingerichteten Gitter, die ſo ſorgfältig nach bekannten Maßen eingerichtet ſind, wie bei Fraunhofer's Verſuchen, ſo giebt die Beſtimmung des Abſtandes dieſer Farbenbilder vom Hauptbilde oder im andern Falle vom leuchtenden Körper ſelbſt ein neues Mittel, die Länge der Lichtwellen genau zu berechnen, und auf dieſe Verſuche hat Fraunhofer ſeine oben ſchon angeführten Angaben für die Länge der Lichtwellen gegründet.

Die Farben, welche ſich an Haaren, an Spinnefäden, an Metallſaiten zeigen, müſſen ohne Zweifel aus ähnlichen feinen Furchungen erklärt werden. Der ſchillernde Glanz der Vogelfedern ſcheint ebenfalls hieher zu gehören, ſowie die Farbenſpiele, die man bemerkt, wenn man durch enggewebte Zeuge, den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder u. ſ. w. ſieht.[1] Nach Brewſter ſoll man auch das Farbenſpiel des Perlmutters den feinen Furchen zuſchreiben, die ſich auf der Oberfläche dieſes Körpers finden. Dieſe Furchen, die zuweilen parallel, zuweilen in verſchiedenen Richtungen gekrümmt ſind, laſſen ſich mit

[1] Auch diejenigen Farbenſtreifen ſind wohl hieher zu rechnen, die man oft im Spiegel wahrnimmt, wenn man das Auge ſo hält, daß eine vor dem Spiegel gehaltene Lichtflamme ganz nahe bei ihrem Bilde im Spiegel erſcheint. Dieſe Streifen haben ihr Blau dem Spiegelbilde zugewandt und ſind ſenkrecht gegen die durch die Flamme und ihr Bild gezogene Linie. Sie entſtehen durch die auf dem Spiegel liegenden Stäubchen und andre Unreinheiten.

dem Microſcop erkennen, und Brewſter ſucht in dieſen Furchungen die Urſache des Perlmutterglanzes, weil es ihm gelungen iſt, Abdrücke von Perlmutter in weichen Körpern, z. B. ſchwarzem Siegellack, arabiſchem Gummi, ja ſelbſt in Blei mit ähnlichem Farbenglanz zu erhalten.[1]

Fresnel's Experiment über die Interferenz-Erſcheinungen.

Endlich muß ich noch ein Experiment, welches Fresnel zur Darſtellung der Interferenz-Erſcheinungen empfohlen hat, anführen. Man bedient ſich dabei zweier an der Hinterſeite geſchwärzter Gläſer, deren Vorderſeite alſo als Spiegel dient und die dann keine doppelten Spiegelbilder geben. Dieſe werden mit vollkommener Berührung ihrer Ränder in eine ſehr geringe Neigung gegen einander gebracht, wie BC, CD (IX. Fig. 19), und erhalten von einem ſehr feinen Punkte A ihr Licht. Da hier eine unbeſchränkte Spiegelung ſtatt findet, ſo ſollte der eine Spiegel ein reines Bild in V, der andre in U hervorbringen, die aber, weil die Spiegel ſo ſehr wenig gegen einander geneigt ſind, ſehr nahe an einander liegen. Ein Auge in E ſieht alſo durch die in F und G, ein Auge in H durch die in I und K reflectirten Strahlen zwei Bilder, und die Erleuchtung ſollte in dieſen und allen zwiſchenliegenden Punkten von beiden Spiegeln her ſtatt finden, wenn man nicht auf die einander gegenſeitig zerſtörenden Lichtwellen ſehen müßte, deren Einfluß bei einer ſo ſehr geringen Neigung der neben einander fortgehenden Strahlen merklich wird. Zieht man nämlich die den Winkel UCV halbirende Linie ECW, ſo erhellt leicht, daß in jedem Punkte der Linie CE, zum Beiſpiel in E, eine durch die Reflexion von beiden Spiegeln verſtärkte Erleuchtung ſtatt findet, weil die Summe der Wege AG, GE ebenſo groß als die Summe der Wege AF, FE iſt. Dagegen in einem Punkte H neben E kann Mangel an Erleuchtung, Dunkelheit durch Interferenz ſtatt finden, wenn AK, KH zuſammen genau eine halbe Wellenlänge mehr als AI, IH zuſammen betragen; in M wird wieder eine verſtärkte Lichterſcheinung eintreten, wenn die Differenz der Wege eine ganze Wellenlänge beträgt, und ſo ferner.

Dieſe neben einander liegenden hellen und dunkeln Punkte ſieht man nun wirklich, wenn man in HE eine matte Glasplatte hält und ſie von der Seite Z aus mit dem Microſcop betrachtet, oder — was, wie ich öfter geſagt habe, einerlei iſt — wenn man dieſes mattgeſchliffene Glas wegläßt und mit dem Microſcop die Strahlen beobachtet, welche in HE ihre Wirkung äußern. Daß aber dieſe Lichterſcheinungen wirklich der Interferenz ihren Urſprung verdanken, ſieht man, wenn man nur die von einem Spiegel nach MHE kommenden Strahlen zuläßt, die andern aber durch einen Schirm aufhält; alsdann iſt dieſer Wechſel von Hell und Dunkel nicht mehr zu bemerken.

Man wird vielleicht einwenden, eben das müſſe ſich alſo bei allen Spiegeln

[1] Um dieſe gut zu erhalten, muß man Perlmutter in recht feines ſchwarzes Siegellack abdrücken; aber das Farbenſpiel, welches man dann im Sonnenſtrahl erhält, iſt doch von dem des Perlmutters noch verſchieden, ſo daß ich den Zweifel, ob nicht die feinen Blättchen im Perlmutter Antheil an dem Farbenſpiel haben, nicht ganz als widerlegt anſehe.

zeigen, auch wenn ihre Neigung größer wäre; aber es läßt ſich leicht darthun, daß bei einem größern Winkel, den die Spiegel mit einander machen, dieſe kleinen erleuchteten Punkte ſo nahe an einander fallen, daß ſie nicht mehr zu erkennen ſind; ſelbſt die Neigung von 1 Grad giebt den Abſtand zwiſchen den beiden erſten hellen Punkten nur 60 Wellenlängen gleich, das iſt ungefähr ein Funfzigſtel einer Linie, und der Winkel muß alſo noch weniger betragen, damit jene Punkte unterſchieden werden können.

Aus allen dieſen Verſuchen ſehen Sie, daß die Lehre von den Interferenz-Erſcheinungen des Lichtes auf einer ſolchen Mannigfaltigkeit von Verſuchen beruht, daß man jene unmöglich bezweifeln kann. Dieſe Erſcheinungen ſprechen den Satz deutlich aus, daß nicht unbedingt zwei Lichtſtrahlen oder Lichtwellen-ſyſteme zuſammenkommend die Erleuchtung verſtärken, ſondern daß ſie, nach beinahe gleicher Richtung fortgehend, einander ſchwächen, ja ſelbſt zerſtören, wenn ihre Wege von der Lichtquelle an um eine gewiſſe Differenz der Wege oder um das Dreifache, Fünffache, Siebenfache dieſer Differenz verſchieden ſind, während die Verſtärkung ſtatt findet, wenn die Wege gleich oder um das Doppelte, Vierfache, Sechsfache jener Differenz verſchieden ſind.

Aber ſelbſt einer der ſcharfſinnigſten und gründlichſten Vertheidiger der Undulationstheorie, Fraunhofer, hat die ſehr wahre Bemerkung gemacht, daß daraus nicht unbedingt die Richtigkeit dieſer Theorie folge, ſondern nur die Nothwendigkeit, die Wirkungen des Lichtes ſo zu erklären, daß die Erfolge in der einen Hälfte des Weges, den wir eine Wellenlänge genannt haben, zerſtörend für die der andern Hälfte bei genauem Zuſammentreffen beider wirken.

Dreiundvierzigſte Vorleſung.

So merkwürdige und zum Theil überraſchende Erſcheinungen ich Ihnen auch bisher ſchon mitgetheilt habe, ſo haben doch die in den neueſten Zeiten angeſtellten Unterſuchungen über die Phänomene des Lichtes noch vieles dargeboten, was noch überraſchender iſt, uns das wunderbare Weſen des Lichtes in noch mannigfaltigern Modificationen kennen lehrt, aber auch des Räthſelhaften und Unerklärlichen noch ſehr viel darbietet. Die Erſcheinungen, womit ich Sie heute unterhalten werde, geben hiervon ſchon einige Beiſpiele, ſchließen ſich aber doch auch noch an ſehr bekannte Erſcheinungen an, und bilden den Uebergang zu den verwickelten Erſcheinungen, auf die ich eben vorhin hindeutete.

Die doppelte Brechung der Lichtſtrahlen.

An die Lehre von der Brechung des Lichtes ſchließt ſich eine Erſcheinung an, die vielleicht im erſten Augenblicke nicht von ſo ſehr tiefer Bedeutung zu ſeyn ſcheint, und die dennoch uns Eigenſchaften des Lichtes kennen lehrt, auf die keine der bisher erklärten Erſcheinungen hinwies. Sie wiſſen, daß faſt

bei jedem Uebergange in einen andern Körper das Licht, wenn es ſchief auffällt, gebrochen wird und ſich in Farbenſtrahlen zerlegt; aber einige Körper, und zwar namentlich ſolche, die cryſtalliſirt ſind, haben die Eigenſchaft, den eintretenden Lichtſtrahl in zwei völlig von einander getrennte Strahlen, deren jeder die Farbenerſcheinung darbieten kann, zu zerlegen. Wir ſagen von dieſen Körpern, daß das Licht in ihnen eine doppelte Brechung erleide, und es zeigt ſich bei genauerer Unterſuchung, daß die Geſetze der Brechung für dieſe zwei getrennten Strahlen weſentlich verſchieden ſind.

Einer der bekannteſten Körper, der dieſe Eigenſchaft beſitzt, iſt der Doppel- oder Kalkſpath, ehemals unter dem Namen des isländiſchen Spaths oder Cryſtalls bekannt, an welchem *Bartholin* in Kopenhagen im 17ten Jahrhundert die Eigenſchaft der doppelten Brechung der Lichtſtrahlen entdeckte. Dieſer iſt ein durch parallele, aber ſchief gegen einander geneigte Ebenen begrenzter Körper, ein Rhomboëder, deſſen Seitenflächen Rhomben, d. h. ſchiefe Vierecke mit parallelen Seiten ſind, in welchem die zwei ſpitzen Winkel 78° 5′, die zwei ſtumpfen Winkel 101° 55′ betragen; dieſe Seitenflächen machen mit einander Neigungswinkel von 74° 55′ und 105° 5′, die Kanten mit den Seitenflächen Winkel von 70° 52′, und dieſe Abmeſſungen finden ſich bei allen dieſen Cryſtallen gleich. Der Cryſtall läßt ſich leicht in Blättchen, die den Oberflächen parallel liegen, zerlegen, und die integrirenden Theilchen des Cryſtalls müſſen alſo als ebenſolche Rhomboëder angeſehen werden, denen wir überdieß gleiche Seitenlinien und eine mit der Lage der Seiten des großen Cryſtalls übereinſtimmende Lage beilegen dürfen. Der große Cryſtall ſowohl, als die Elementarcryſtalle, woraus wir uns ihn zuſammengeſetzt denken, hat unter ſeinen acht körperlichen Ecken zwei, die aus drei ſtumpfen Winkeln von 101° 55′ gebildet ſind, die ſechs übrigen beſtehen aus zwei ſpitzen und einem ſtumpfen Winkel. Nimmt man von dem großen Cryſtalle ein Stück, deſſen Seitenlinien AB, BC, AD (IX. Fig. 20) alle gleich ſind, und zieht zwiſchen den beiden aus lauter ſtumpfen Winkeln entſtandenen Ecken eine grade Linie BK, ſo heißt dieſe *die Axe des Cryſtalls* (auch Axe der doppelten Brechung), und ſie hat die Eigenſchaft, daß ſie gegen alle Seitenflächen eine gleiche Neigung von 45° 23′ 25″ hat. Sie kann mit Recht die geometriſche Axe des Cryſtalles heißen, weil in jedem ſolchen Cryſtalle einerſeits nur *eine* ſolche, zwiſchen den ſtumpfen Ecken gezogene Linie vorkömmt, anderſeits auch keine andre Linie ſich ebenſo als einzig in ihrer Art darſtellt. Wenn der zufällig gebildete Cryſtall ungleiche Seiten hat, ſo muß man dennoch unter der Axe des Cryſtalls dieſe im gleichſeitigen Cryſtalle gezogene Linie verſtehen, die bei unſern Betrachtungen vorzüglich in Beziehung auf die kleinen Cryſtalle, aus welchen wir uns den großen Cryſtall zuſammengeſetzt denken, vorkömmt. Eine Ebene, die mit der Axe des Cryſtalls parallel und gegen eine Seitenfläche deſſelben ſenkrecht iſt, heißt ein Hauptſchnitt des Cryſtalls.

An dieſem Cryſtalle nun zeigen ſich die Erſcheinungen der doppelten Strahlenbrechung auf folgende Weiſe. Wenn ſich unter der Grundfläche in

T (IX. Fig. 20) ein kenntlicher Punkt befindet, zu welchem die vom Auge O ausgehende Linie gegen beide Oberflächen ABC, DKL ſenkrecht gezogen iſt, ſo ſieht das Auge O jenen Punkt doppelt; bei genauerer Unterſuchung überzeugt man ſich, daß zwar die Richtung, nach welcher das eine dieſer doppelten Bilder geſehen wird, mit der Senkrechten OT genau übereinſtimmt, der Lichtſtrahl alſo ungebrochen zum Auge kömmt, daß aber der andre Strahl, ganz den Geſetzen der gewöhnlichen Brechung entgegen, auch hier eine Brechung leidet. Man bemerkt hierbei, ſo lange das Auge genau in der gegen beide Oberflächen ſenkrechten und durch den Punkt T gehenden Linie bleibt, daß beide Bilder in einer Richtung liegen, die mit der den ſtumpfen Winkel ABC halbirenden Linie parallel iſt, und daß die Brechung, die wir die ungewöhnliche Brechung zu nennen berechtigt ſind, in derjenigen Ebne geſchieht, in welcher ſich die vorhin angegebene Axe des Cryſtalles befindet. Dieſe Bemerkung gilt in Beziehung auf jedes Paar paralleler Seitenflächen des Cryſtalles, und es läßt ſich alſo wohl einſehen, daß jene Axe in einer beſtimmten Beziehung zu der doppelten Brechung ſteht. Entfernt ſich das Auge von der durch T auf beide Ebenen ABC, DKL gezogenen Senkrechten, bleibt aber in derjenigen auf ABC ſenkrechten Ebene, die durch T mit den Axen der Cryſtalle, aus welchen wir den großen Cryſtall zuſammengeſetzt anſehen, parallel iſt, ſo bleibt auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl in dieſer Ebne; weicht dagegen das Auge von dieſer Ebne ab, ſo iſt für den ungewöhnlichen Strahl das bei der gewöhnlichen Brechung ganz allgemeine und auch hier für den gewöhnlich gebrochenen Strahl immer ſtatt findende Geſetz, daß der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe in einer Ebne liegen, nicht mehr richtig.

Statt jedoch noch mehr einzelne Beobachtungen durchzugehen, wollen wir ſogleich den Hauptgedanken, daß jene geometriſche Axe des Cryſtalles auch als optiſche Axe eine große Wichtigkeit habe, feſthalten und daran weitere regelmäßig geordnete Verſuche knüpfen. Dabei muß ich nur daran erinnern, daß, wenn der Cryſtall ungleiche Seiten hat, jene Axe als Ecklinie für einen Cryſtall mit gleichen Seitenlinien zu ziehen iſt, und daß in jedem Punkte, wo ein Strahl einfällt oder durchgehend hingelangt, in den kleinern Cryſtallen, die wir als integrirende Theile des Ganzen anſehen, ſolche Axen, alle unter einander parallel, vorhanden ſind. Um den Einfluß dieſer Axen kennen zu lernen, läßt man einen Cryſtall ſo ſchneiden, daß er zwei auf dieſe Axen ſenkrechte Ebnen als Seitenflächen erhält; hier zeigt ſich nun erſtlich, daß, wenn der Lichtſtrahl mit der Axe parallel, das heißt, ſenkrecht auf die gedachten Oberflächen einfällt, er ungebrochen und unzerſpalten durchgeht und daher der geſehene Punkt einfach erſcheint; dagegen zweitens, daß, wenn der Strahl geneigt einfällt, der gewöhnlich gebrochene Strahl der Axe näher liegt, als der nun wieder getrennt erſcheinende ungewöhnliche Strahl. Da nämlich (IX. Fig. 21) hier BL die Axe (oder die verlängerte Axe) des an B anliegenden kleinen Cryſtalles iſt, ſo wird der einfallende Strahl AB in den gewöhnlichen BO und den ungewöhnlichen BE

geſpalten, beide erleiden eine Brechung, aber der ungewöhnlich gebrochene Theil des Strahles verhält ſich ſo, als ob er durch irgend eine nur auf ihn allein wirkende Kraft von der Axe BL zurückgeſtoßen würde.

Schneidet man den Cryſtall ſo, daß zwar (IX. Fig. 22) die eine Seitenfläche LM auf die Axe BC ſenkrecht, die andre NQ aber willkührlich dagegen geneigt iſt, ſo geht nicht bloß ein bei B ſenkrecht auffallender Strahl ungebrochen und unzerſpalten nach BC fort, wo er dann als ungetheilter Strahl, obgleich gebrochen, nach CP hervorgeht, ſondern auch, wenn bei C ein ſchief auffallender Strahl PC grade ſo auffällt, daß er nach der Brechung bei C mit der Axe BC parallel wird, ſo geht der ganze Strahl (von deſſen Farbenzerſtreuung wir hier abſehen) hervor, ohne zwei Bilder zu zeigen. Es iſt daher ein Mittel, um die genaue Axe des Cryſtalles kennen zu lernen, daß man ihn ſo ſchneidet, daß das ſenkrecht auf die Ebne LM nach B ſehende Auge nur ein einfaches Bild der Gegenſtände erhalte, welches allein dann der Fall iſt, wenn die Senkrechte BC mit der Axe zuſammenfällt oder allen Axen der Cryſtalltheilchen parallel iſt. Sind beide Oberflächen auf dieſe Axe ſenkrecht, ſo zeigen ſich die Erſcheinungen des zweiten Bildes bei ſchief einfallenden Strahlen nach allen Richtungen um die Axe vollkommen gleich.

Eine ebenſolche Axe, welche die Eigenſchaft hat, daß die mit ihr parallel im Innern des Cryſtalles fortgehenden Strahlen keine Zerſpaltung in zwei Strahlen leiden, findet man auch bei andern doppelt brechenden Cryſtallen; aber nicht bei allen iſt der ungewöhnlich gebrochene Strahl der von der Axe entferntere oder gleichſam von ihr abgeſtoßene, ſondern in einigen, z. B. im Bergcryſtall, liegt er der Axe näher als der gewöhnlich gebrochene, ſo daß man ihn als angezogen anſehen müßte.

Um die Geſetze zu beſtimmen, wie die Brechung von der Lage dieſer Axe abhängig iſt, muß man die Cryſtalle in verſchiedenen Richtungen zerſchneiden laſſen, damit man die dann hervorgehenden Phänomene wahrnehmen könne. Außer derjenigen Theilung, bei welcher die Ebnen beider Schnitte auf die Axe ſenkrecht ſind, iſt diejenige die merkwürdigſte, wo beide Schnitte mit der Axe und unter einander parallel ſind. Am belehrendſten ſind hier die zwei Fälle, wo entweder der einfallende Strahl in einer durch das Einfallsloth gelegten, mit der Axe parallelen, oder in einer auf ſie ſenkrechten Ebne liegt. Es ſey AC (IX. Fig. 23) dieſe Axe und der Lichtſtrahl IK liege ſo, daß er ſich in einer durch KL und KM ſenkrecht auf AC gelegten Ebne befinde, ſo bleiben der ungewöhnlich gebrochene und der gewöhnlich gebrochene Strahl in eben dieſer durch MKI oder MKL gelegten Ebne, aber der Winkel, den der ungewöhnlich gebrochene Strahl KE mit dem Einfallslothe KN macht, iſt größer als der, den der gewöhnlich gebrochene KO mit KN macht, und in dieſem Falle, nämlich wenn die Ebne MKI ſenkrecht auf die Axe iſt, haben ſowohl die Sinus der Winkel IKM, OKN, als die Sinus der Winkel IKM, EKN ein bei allen Einfallswinkeln gleich bleibendes Verhältniß. Dieſes Verhältniß wird bei jenen durch 1 zu 0,604 oder 1,656 zu 1, bei dieſen durch 1 zu 0,674

oder 1,484 zu 1 ausgedrückt, und der Winkel EKN iſt alſo allemal größer als OKN (z. B. für IKM=10° iſt EKN=6° 43¼′ und OKN=6° 1¼′).

Wenn man dieſe Erſcheinungen nach Newton's Anſichten benutzen wollte, um die Geſchwindigkeit der Lichttheilchen im Innern des Cryſtalls zu beſtimmen, ſo würde man dieſe Geſchwindigkeit ungleich finden für die im gewöhnlich gebrochenen und für die im ungewöhnlich gebrochenen Strahle vereinigten Lichttheilchen, indem jene beinahe 1⅔mal ſo ſchnell als in der Luft, die ungewöhnlich von ihrem Wege abgelenkten Theilchen aber nur 1½mal ſo ſchnell als in der Luft fortgehend angenommen werden müßten. Dieſer Newton'ſchen Anſicht gemäß ſahen wir die in den dichtern und ſtärker brechenden Körpern größere Geſchwindigkeit ſo an, als ob ſie durch die anziehende Kraft des Körpers beſchleunigt wäre, und dieſe Beſchleunigung finden wir alſo hier geringer bei den der ungewöhnlichen Brechung folgenden Theilchen; dieſes Reſultat läßt ſich auch, wie Biot richtig bemerkt, mit der Vorſtellung, daß die Axe eine abſtoßende Kraft auf die Lichttheilchen — auf diejenigen nämlich, welche der ungewöhnlichen Brechung folgen — ausübt, vereinigen, indem dieſe Kraft, weil die Lichttheilchen in dieſem Falle immer ſenkrecht auf die Axen treffen, nur zur Verminderung der Geſchwindigkeit beiträgt, und daher die dieſer zurückhaltenden Kraft unterworfenen Theilchen ſich nicht ſo ſehr beſchleunigen, als die im gewöhnlichen Strahle enthaltenen, das iſt, die dieſer Kraft nicht unterworfenen Theilchen.

Aber bei den doppelt brechenden Körpern darf man nicht annehmen, daß die Geſchwindigkeit der Fortpflanzung des ungewöhnlich gebrochenen Strahls gleich ſey für alle Richtungen des eindringenden Strahls, ſondern, wenn dieſer im Innern fortgehende Strahl mit der Axe zuſammenfällt, vereinigt er ſich nicht allein der Richtung nach mit dem gewöhnlich gebrochenen, ſondern hat auch eben die Geſchwindigkeit, während bei einer gegen die Axe ſenkrechten Richtung dieſe Geſchwindigkeit des ungewöhnlich gebrochenen Strahles in dem eben vorhin angegebenen Grade geringer iſt. In Fällen, wo der im Innern fortgehende Strahl irgend eine Neigung gegen jene optiſche Axe hat, erhält man eine, nach Maaßgabe der Neigung verſchiedene Geſchwindigkeit.

Der zweite merkwürdige Fall, welcher ſich darbietet, wenn die Oberfläche, durch welche der Strahl eintritt, die Axe ſelbſt in ſich enthält, iſt der, wo der Strahl in der durch die Axe und das Einfallsloth gehenden Ebne ſich befindet. Auch in dieſem Falle geht der ungewöhnlich gebrochene Strahl ſo wenig, als der gewöhnlich gebrochene, aus der durch das Einfallsloth und den einfallenden Strahl gelegten Ebne heraus, weil die abſtoßende Kraft, die wir der Axe beilegen, hier in eben derſelben Ebne wirkt; aber der ungewöhnlich gebrochene Strahl entfernt ſich mehr als der gewöhnlich gebrochene Strahl von dieſer Axe, ſo daß, wenn (IX. Fig. 24) AB die Oberfläche und zugleich die Richtung der in ihr liegenden Axe darſtellt, KL der einfallende Strahl, LP das Einfallsloth iſt, LE den ungewöhnlich gebrochenen, LO den gewöhnlich gebrochenen Strahl darſtellen würde. Für den gewöhnlich gebrochenen Strahl

ſindet auch hier eben das Verhältniß der Sinus, wie vorhin, ſtatt; aber für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl gilt ein andres Geſetz, das ſich in einer Zeichnung darſtellen läßt.

Wenn der einfallende Strahl in einer durch das Einfallsloth auf die Axe ſenkrechten Ebne liegt, ſo ſindet für den ungewöhnlichen Strahl das Geſetz für die Sinus der Winkel ebenſo wie bei dem gewöhnlichen Strahle ſtatt, nur daß das Brechungsverhältniß ein andres iſt. Eine Zeichnung, der früher angewandten ähnlich, giebt hier die Richtung beider Strahlen, indem man beide Senkrechten auf das Einfallsloth nach den oben angegebenen Zahlen, alſo NO = 0,60. LM (IX. Fig. 25) und no = 0,67. LM eintragen und AO als gewöhnlich, AoE als ungewöhnlich gebrochenen Strahl zeichnen müßte; aber es läßt ſich dieß noch bequemer thun. Man zeichne zwei Kreiſe, deren Halbmeſſer ſich wie 604 zu 674 verhalten, um den Einfallspunkt A (Fig. 25), beſtimme in dem erſten auf die gewöhnliche Weiſe den Punkt O, um die Lage des gewöhnlich gebrochenen Strahles zu erhalten, und ziehe an O eine Berührungslinie, welche die Brechungsfläche in K ſchneidet; zieht man nun von K eine Berührungslinie KE an den zweiten Kreis, ſo giebt AE, nach dem Berührungspunkte E gezogen, in dieſem Falle den ungewöhnlich gebrochenen Strahl. Es iſt nämlich leicht zu zeigen, daß die Senkrechten NO, no, die in demſelben Kreiſe gezogen ſind, alsdann das richtige Verhältniß haben.[1] Dieſe Zeichnung galt bei der Lage des Strahls in einer auf die Axe ſenkrechten Ebne; für die Lage des Strahls in einer durch das Einfallsloth parallel mit der Axe des Cryſtalls gelegten Ebne gilt eine ziemlich übereinſtimmende Zeichnung. Man giebt wieder dem Halbmeſſer AF eines um den Einfallspunkt A (IX. Fig. 26) gezogenen Kreiſes die Größe von 604 Theilen und trägt AG = 674 Theilen auf, zieht nun beliebig viele mit AG parallele Linien und theilt jede derſelben, ſo weit ſie zwiſchen AH und dem Umfange des Kreiſes liegen, in 604 Theile, verlängert ſie aber dann um 70 eben ſolche Theile, ſo daß PO ſich zu PE wie 604 zu 674 verhalte; durch die ſo beſtimmten Endpunkte zieht man die krumme Linie HEG, welche eine Ellipſe wird. Nach dieſen Vorbereitungen iſt es zuvörderſt leicht, aus der Lage BA des einfallenden Strahles die Lage AO des gewöhnlich gebrochenen Strahles herzuleiten; wenn man nun an O die Berührungslinie OK zieht, ſo iſt KE eine Berührungslinie der Ellipſe, und die nach dem Berührungspunkte E derſelben gezogene AE die Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahles.

An dieſe Regeln ſchließen ſich die für andre Fälle an, die ich indeß hier übergehen will, um nicht zu lange bei ſtrengen geometriſchen Conſtructionen zu verweilen. In dieſen andern Fällen, wo die durch den einfallenden Strahl und das Einfallsloth gelegte Ebne weder mit der Axe des Cryſtalles parallel noch auf ſie ſenkrecht iſt, bleibt zwar der gewöhnlich gebrochene Strahl in

[1] Die rechtwinkligen Dreiecke KAO, AON ſind ähnlich, ebenſo KAE und Aon, alſo

$$KA : AO = AO : ON,$$

$$AE : KA = on : Ao,$$

das iſt $AE : AO = on : ON = 0{,}674 : 0{,}604.$

eben jener Ebne, aber der ungewöhnlich gebrochene bleibt nicht in dieſer Ebne, und ſeine Lage wird durch eine Berührungsebne, die an eine ſphäroidiſche Fläche gelegt wird, beſtimmt. Dieſes Sphäroid, deſſen beide Axen ſich wie die Zahlen 604 und 674 verhalten, iſt um ſo merkwürdiger, da es mit der Form der Lichtwellen in einer Beziehung ſteht, die ich ſpäter noch erwähnen werde.

Einige Verſuche. Rochon's Micrometer.

Aber ehe ich zu andern merkwürdigen Erſcheinungen übergehe, die ſich bei der doppelten Brechung zeigen, will ich doch vorher einen Verſuch angeben, der, auch wenn man keine nach den angegebenen Richtungen geſchnittenen Doppelſpathcryſtalle beſitzt, die Richtung, in welcher die doppelten Bilder gegen einander liegen, bequem wahrnehmen läßt. Wenn man eine grade Linie auf weißes Papier zeichnet und dieſes unter den Cryſtall legt, während das Auge ſenkrecht gegen die Oberfläche des Cryſtalls herabſieht, ſo ſieht man die Linie doppelt, als zwei Linien neben einander, wenn ihre Richtung ſenkrecht gegen diejenige Ecklinie des Cryſtalles iſt, die wir zwiſchen den ſtumpfen Winkeln ſo, daß alle Seitenlinien der obern und untern Seitenfläche gleich werden, ziehen. Iſt jene Linie in einer zu dieſer Axe parallelen Ebne, ſo fallen beide Linien auf einander, aber wenn man Abtheilungen auf dieſer Linie bemerkt hat, ſo ſieht man dieſe nach der Längenrichtung der Linie verdoppelt erſcheinen. Noch beſſer als eine ſolche einfache Linie dient zur Beſtimmung der Punkte, von welchen der gewöhnliche und der ungewöhnliche Strahl nach gleicher Richtung ins Auge kommen, ein aufgezeichnetes rechtwinkliges Dreieck mit einem ſehr ſpitzen Winkel und eingetheilten Seiten. Dieſes zeigt ſich, ſo wie IX. Fig. 27 darſtellt, durch den Doppelſpath verdoppelt, und indem zum Beiſpiel der zehnte Theilungspunkt der Hypotenuſe des einen Bildes mit dem zweiten Theilungspunkte der Baſis des andern zuſammentrifft, ſo ſieht man, daß der gewöhnlich gebrochene Strahl von einem dieſer Punkte und der ungewöhnlich gebrochene Strahl von dem andern in gleicher Richtung zum Auge kommen; befindet ſich alſo das Auge in einer ſolchen Stellung, daß der von dem Punkte A der Baſis des Dreiecks BCD kommende gewöhnlich gebrochene Strahl beide Oberflächen des Cryſtalles ſenkrecht ſchneidet, ſo iſt a derjenige Punkt deſſelben Dreieckes, von welchem der ungewöhnliche Strahl in eben der gegen A gehenden Richtung zum Auge kömmt. Die Abmeſſung, die ſich dabei ergiebt, iſt ſehr paſſend, um den Betrag der Brechung bei verſchiedenen Lagen des Cryſtalles und des Auges kennen zu lernen. Und ſo wie hier der wahre Abſtand derjenigen beiden Punkte gefunden wird, die in den beiden Bildern als zuſammenfallend erſcheinen, ſo kann man auch umgekehrt den Weg beider von demſelben Punkte ausgehenden Strahlen beſtimmen. Gelangt nämlich (IX. Fig. 29) der in O eintretende Strahl FO als gewöhnlich gebrochener und der in E eintretende fE als ungewöhnlich gebrochener in der Richtung AB zum Auge B, ſo ſind gewiß OA, OC die beiden von O aus in den Cryſtall eindringenden

Strahlen und OC iſt parallel mit EA; der letztere geht nach D fort und erreicht das Auge nicht, während ein etwas ſchief auffallender Strahl Fo, ungewöhnlich nach oa gebrochen, in a einen mit Fo parallelen Strahl aB giebt, welcher das Auge B erreicht.

Dieſe Zerſpaltung des in O eintretenden Strahles FO ſieht man am beſten, wenn man einen Sonnenſtrahl durch eine ſehr kleine Oeffnung O eintreten läßt, indem dieſer theils nach der Richtung AB, theils nach der mit dieſer parallelen Richtung CD hervorgeht und ſeinen Weg, den man nur im dunkeln Zimmer gut ſehen kann, ſo getheilt fortſetzt.

Dieſe doppelte Brechung hat zu einer nützlichen Anwendung, nämlich zu Rochon's Micrometer Veranlaſſung gegeben. Wenn aus einem doppelt brechenden Körper zwei der äußern Form nach gleiche Prismen ABC, BCD (IX. Fig. 30) geſchnitten werden, die man ſo, wie die Figur zeigt, verbindet, ſo wird ein auf AB ſenkrecht einfallender Strahl, ſofern er der gewöhnlichen Brechung folgt, ganz ungebrochen durchgehen; der ungewöhnliche Strahl aber kann eine Brechung erleiden. Zu dem hier beabſichtigten Zwecke ſchneidet man das erſte Prisma ſo, daß AB eine gegen die Axe des Cryſtalles ſenkrechte Ebne, alſo AC dieſer Axe parallel iſt; das zweite Prisma wird ſo geſchnitten, daß die Axen ſowohl in der Ebne BC als in der Ebne CD liegen, alſo die Richtung der Axe mit der durch C gehenden, auf BCD ſenkrechten Seitenlinie des Prisma's zuſammenfällt. Aus den Ihnen bekannten Eigenſchaften des Cryſtalles folgt, daß der bei F oder f ſenkrecht auf AB eindringende Strahl gar nicht gebrochen wird, ſondern bis an BC in grader Richtung fortgeht, indem auch die Theile, die ſonſt der ungewöhnlichen Brechung folgen könnten, doch, parallel mit der Axe fortgehend, keine Brechung leiden. Wenn die Strahlen die Oberfläche BC erreichen, ſo geht derjenige Theil, welcher der gewöhnlichen Brechung unterworfen iſt, doch immer grade fort, da auch die hier ſtattfindende Lage der Axe für ihn keine Aenderung hervorbringt; aber derjenige Theil des Strahles, der einer ungewöhnlichen Brechung fähig iſt, leidet hier eine andre Brechung und geht ſo, wie Ge, ge zeigen, fort. Der Strahl LO tritt ungebrochen hervor und gelangt zum Auge P, der Strahl ge und ebenſo GE leiden eine neue Brechung und der erſtere gelangt in P zum Auge. Wenn der Gegenſtand L weit entfernt ſteht, ſo ſind Lg, lg Strahlen, die von demſelben Punkte ausgehen, und das Auge in P ſieht alſo den Punkt L verdoppelt und die beiden Bilder um den Winkel OPe von einander entfernt. Dieſer Winkel iſt bei beſtimmter Beſchaffenheit des Prisma's immer gleich; er kann aber dennoch zu Abmeſſung der ſcheinbaren Größe eines im Fernrohr geſehenen Gegenſtandes dienen. Zu dieſem Zwecke ſtellt man (IX. Fig. 31) das Doppelprisma AB zwiſchen das Objectiv HI und den Brennpunkt f, um ſtatt eines Bildes im Brennpunkte zwei Bilder hervorzubringen; dieſe Bilder werden allemal in der Gegend des Brennpunktes entſtehen und deſto weiter aus einander gerückt ſeyn, je weiter das Doppelprisma AB vom Brennpunkte f entfernt iſt, indem die übereinſtimmenden Punkte F, f

beider Bilder ſo liegen, daß der Winkel FCf immer derſelbe iſt. Stellt man alſo das Prisma ſo, daß beide Bilder ſich berühren, ſo läßt ſich aus dem beſtimmten Abſtande des Prisma's vom Brennpunkte die wahre Größe des Bildes, alſo die ſcheinbare Größe des Gegenſtandes, herleiten.

Dieſe Micrometer werden gewöhnlich aus Bergcryſtall gemacht, der in der Hauptſache gleiche Eigenſchaften beſitzt, wie der Doppelſpath, und in ſehr reinen Cryſtallen vorkömmt.

Doppelte Brechung durch mehr als einen Cryſtall.

Wenn man nach der Kenntniß der bisher betrachteten Erſcheinungen die Frage aufwirft: was wird erfolgen, wenn jener aus dem einen Doppelſpathe hervorgegangene, in zwei Strahlen zerſpaltene Strahl auf einen zweiten Doppelſpath fällt? — ſo ſcheint es, man könne nur zweierlei vermuthen, entweder daß jeder dieſer Strahlen ſich wieder ebenſo wie bei dem erſten Cryſtalle verhalte, oder daß die einmal erfolgte Spaltung gar nicht zum zweiten Male eintreten werde; und doch ſind beide Vermuthungen nicht in dem Sinne richtig, daß eine von ihnen für alle Fälle paßte.

Wir wollen zwei ganz gleiche Cryſtalle nehmen und dieſe ſo über einander ſtellen, daß die ſtumpfen Winkel der Grundflächen genau über einander ſtehen und die Axen der Cryſtalle unter ſich parallel ſind. Wenn dann (IX. Fig. 32) ein Lichtſtrahl BA ſenkrecht auf die obere Fläche fällt, ſo ſpaltet ſich, wie Sie wiſſen, in A der Strahl; der gewöhnlich gebrochene, der durch den erſten Cryſtall ungebrochen ging, trifft den zweiten ſenkrecht und geht auch hier ungebrochen und ungeſpalten durch; der ungewöhnlich gebrochene AE wird in E beim Hervorgehen in die Luft wieder mit AB oder Ao parallel, in e, beim Eintritt in den zweiten Cryſtall, erleidet er, ohne geſpalten zu werden, die ungewöhnliche Brechung und gelangt ſo nach p. Dieß ſcheint grade nicht unerwartet; aber wir wollen einen zweiten Fall betrachten. Noch immer ſey die Lage beider Cryſtalle ſo, daß ihre obern und unteren Seiten horizontal bleiben, aber ihre Hauptſchnitte ſeyen gegen einander ſenkrecht, d. h. die Axe des einen liege in einer Verticalebne, die ſenkrecht gegen diejenige iſt, in welcher die Axe des andern liegt, ſo findet bei einem ſenkrecht auffallenden Strahle DC im erſten Cryſtalle die Spaltung wie gewöhnlich ſtatt; aber obgleich der im erſten Cryſtalle gewöhnlich gebrochene Strahl DG auch den zweiten Cryſtall ſenkrecht gegen die Brechungsebne trifft, ſo geht er dennoch hier nicht ungebrochen durch, ſondern folgt den Geſetzen der ungewöhnlichen Brechung, jedoch ohne aufs neue geſpalten zu werden, und gelangt nach H; der ungewöhnlich gebrochene, aus dem erſten Cryſtall hervorkommende Strahl LI dagegen folgt nun im zweiten Cryſtalle den Geſetzen der gewöhnlichen Brechung. In dieſen zwei Fällen, wo jene Hauptſchnitte beider Cryſtalle mit einander parallel oder auf einander ſenkrecht waren, ſpalten beide Strahlen ſich nicht aufs neue; aber nun wollen wir den einen Cryſtall ein wenig zu drehen anfangen, während ſeine obere und untere Seitenfläche noch immer

horizontal bleiben. Sobald dieß geſchieht, fangen beide aus dem erſten Cryſtall hervorgegangene Strahlen an, ſich im zweiten wieder zu zerſpalten; ſo lange die Abweichung der Hauptſchnitte von der parallelen Lage geringer iſt, zeigen ſich unter den vier nun aus dem zweiten Cryſtall hervorgehenden Strahlen zwei ſchwache und zwei ſtärkere, indem der als gewöhnlich gebrochen den zweiten Cryſtall erreichende Strahl ſich in einen matteren ungewöhnlich gebrochenen und in einen ſtärkeren gewöhnlich gebrochenen zerlegt, und der den zweiten Cryſtall als ungewöhnlicher Strahl treffende ſich in einen ſchwachen, der jetzt den Geſetzen der gewöhnlichen Brechung folgt, und in einen ſtärkeren, der abermals ungewöhnlich gebrochen wird, zerlegt. Vergrößert man den Winkel der Hauptſchnitte gegen einander, ſo gehen alle vier Strahlen mehr der gleichen Lichtſtärke zu, und ſind gleich, wenn die Hauptſchnitte einen Winkel von 45 Grad mit einander machen; geht man noch weiter fort, ſo nimmt der Strahl, welcher zuerſt der ſtärkſte war, noch mehr ab, und verſchwindet völlig, wenn beide Hauptſchnitte ſenkrecht gegen einander ſind.

Alle Fälle zeigen ſich alſo hier durch einen ſtetigen Uebergang verbunden, aber unerwartet und ſeltſam erſcheint dennoch dieſe Reihe von Erſcheinungen. Was den erſten Fall betrifft, ſo überſieht man ihn am leichteſten; der zweite Cryſtall iſt nur eine Fortſetzung des erſten, mit genau ebenſo angeordneten Axen, und ſo gut wie der Strahl im erſten Cryſtalle nach ſeinem Eintritte, nachdem er die ihm durch den Cryſtall zu ertheilende Modification erlangt hat, ohne neue Spaltung fortgeht, ebenſo thut er dieſes auch im zweiten. Alle anderen Fälle dagegen zeigen, daß dieſe Modification, welche der Lichtſtrahl erlangt hat, in einer gewiſſen Beziehung der Seiten des Strahls zu den Seiten oder Axen des Cryſtalles ſteht; die verſchiedenen Seiten des Lichtſtrahls haben ungleiche Eigenſchaften, das Licht iſt, wie man es genannt hat, polariſirt.

Aehnliche Beſtimmungen für die Wege des Lichtſtrahls, wie ſie beim Uebergange in einen zweiten Cryſtall ſich hier ergaben, finden auch da ſtatt, wo ein Strahl von der zweiten Oberfläche des Cryſtalles reflectirt in das Innere deſſelben zurückgeht. Auch hier hängt der Weg des reflectirten Strahles ebenſo von der Lage der Axen ab, wie es für einen ſchon im Durchgange durch einen erſten Cryſtall modificirten eintretenden Strahl der Fall ſein würde. Iſt der zur zweiten Oberfläche gelangende Strahl ein gewöhnlich gebrochener, ſo wird der im Innern reflectirte Theil aus einem gewöhnlich gebrochenen Strahle beſtehen, der ganz ſo zurückgeht, wie es in jedem andern Falle ſtatt findet; aber neben ihm geht jetzt auch ein ungewöhnlicher Strahl zurück, deſſen Richtung ſo beſtimmt iſt, wie es bei der Brechung geſchehen würde, wenn der reflectirte Strahl aus einem einfallenden, gebrochenen entſtanden wäre; man muß daher zu dem gewöhnlich reflectirten Strahle die Richtung außerhalb des Cryſtalles ſuchen, in welcher ein Strahl einfallen müßte, um jenen Strahl als gewöhnlich gebrochenen hervorzubringen, dann iſt der ungewöhnlich gebrochene Theil eben dieſes gedachten Strahles einerlei mit dem eben erwähnten ungewöhnlichen Theile des reflectirten Strahles. Wenn der zur Hinterfläche

des Cryſtalles gelangende Strahl ein ungewöhnlich gebrochener war, ſo iſt die Beſtimmung des doppelten, bei der Reflexion hervorgehenden Strahles noch etwas ſchwieriger. Hier muß man für den gegen die Hinterfläche antreffenden Strahl denjenigen zugehörigen Strahl ſuchen, der als gewöhnlich gebrochener in den Cryſtall eindringen würde, wenn unſer ungewöhnlicher Strahl durch Spaltung eines von außen antreffenden entſtanden wäre; die beiden aus Reflexion im Innern entſtehenden Strahlen, die dem ungewöhnlichen zugehören, ſind dann eben die, welche dieſem bloß fingirten gewöhnlich gebrochenen Strahle entſprechen würden.

Cryſtalle mit zwei Axen doppelter Brechung.

Ich habe mich hier meiſtens an die Erſcheinungen im Doppelſpath gehalten; aber andre Körper, die nur eine Axe doppelter Brechung haben, zeigen zweckmäßig geſchnitten ganz ähnliche Erſcheinungen, und die durch ſie hindurchgegangenen Strahlen ſind ebenſo modificirt, wie beim Doppelſpath. Andre Cryſtalle zeigen ſich dagegen als ſolche, die zwei Axen doppelter Brechung haben. In dieſen giebt es zwei Linien, welche die Eigenſchaft beſitzen, daß ein im Innern der Richtung der einen oder der andern folgender Strahl nicht die Erſcheinungen der doppelten Brechung zeigt, obgleich bei allen andern Richtungen des Strahles dieſe beobachtet wird. In dieſen Cryſtallen giebt es keinen Strahl, der den Geſetzen der gewöhnlichen Brechung gemäß gebrochen wird, oder mit andern Worten, die Geſchwindigkeit im Innern des Cryſtalles iſt für keine der beiden Abtheilungen, in welche der Strahl ſich ſpaltet, in allen Fällen gleich, ſondern ſo wie wir es von dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle in den einaxigen Cryſtallen ſchon geſehen haben, daß ſeine Geſchwindigkeit bei verſchiedenen Richtungen gegen die Axe eine andre iſt, ſo findet es hier bei beiden ſtatt. Aber auch in den zweiaxigen Cryſtallen giebt es gewiſſe Ebnen, in welchen einer der Strahlen, welche Richtung er in ihnen auch erlangen mag, gleiche Geſchwindigkeit behält. Eine dieſer Ebnen findet man, wenn man ſich im Cryſtall die beiden ſich durchſchneidenden Axen gezogen denkt, dann eine Linie zieht, die den von ihnen gebildeten Winkel halbirt, und eine Ebne auf ſie ſenkrecht legt; in dieſer Ebne behält der eine Strahl bei jeder in ihr liegenden Richtung gleiche Geſchwindigkeit. Die andre Ebne, worin der andre Strahl immer gleiche Geſchwindigkeit behält, iſt ſenkrecht auf jene und auf die durch beide Axen gelegte Ebne, muß alſo zugleich durch die den Winkel der Axen halbirende Linie gehen. Daß alle, dieſen zwei Ebnen parallele Ebnen gleiche Eigenſchaft beſitzen, darf ich wohl nur obenhin erwähnen, da es eigentlich die Axen der integrirenden Theile des ganzen Cryſtalles ſind, die hier verſtanden werden müſſen.

Die Verſuche, die man angeſtellt hat, um ſich von dieſen Geſetzen zu überzeugen, will ich hier übergehen, ſo wie ich auch des jüngern Herſchel merkwürdige und auffallende Entdeckung, daß in zweiaxigen Cryſtallen die Axen für die rothen Strahlen nicht genau mit denen für die grünen oder blauen

oder violetten übereinſtimmen, ſondern jeder Farbenſtrahl ſein eignes, jedoch immer in einer Ebne liegendes Axenpaar hat, nur obenhin anführen kann.

Uebereinſtimmung der geometriſchen und optiſchen Axen.

Nach Brewſter's Beſtimmung giebt es gewiſſe Arten von Kerngeſtalten der Cryſtalle, welche einfache Brechung, welche doppelte Brechung mit einer Axe, welche doppelte Brechung mit zwei Axen geben. Sie erinnern ſich, daß wir früher nach Hauy's Angaben, die von andern Mineralogen vielfältig verbeſſert und vervollſtändigt worden ſind, jeden Cryſtall als aus gleichen kleinen Cryſtallen (nicht allemal dem Ganzen ähnlich) zuſammengeſetzt anſahen. Von der Geſtalt dieſer Cryſtalle hängt es ab, welche von den drei Brechungen ſtatt findet.

Der Würfel hat durchaus keine Linie, die als nur einmal vorkommend, als einzig in ihrer Art könnte angeſehen werden, ſondern überall bieten ſich uns mehrere übereinſtimmende Axen dar. Ziehen wir eine Linie zwiſchen der Mitte zweier paralleler Seiten, ſo iſt das allerdings eine Axe, aber die beiden andern Seitenpaare geben eben ſolche Axen und alle drei ſind auf einander ſenkrecht. Iſt der Cryſtall ein regelmäßiges Octaëder (IX. Fig. 33), das heißt, beſteht er aus zwei vierſeitigen Pyramiden, deren Grundflächen zuſammenfallen und deren Seitenflächen gleichſeitige Dreiecke ſind, ſo iſt freilich die Linie AB eine Axe, aber CD und EF auch und alle drei ſind auf einander ſenkrecht. Solche Cryſtalle brechen das Licht nie doppelt. Iſt dagegen der Cryſtall ſtatt eines Würfels ein Rhomboëder, wie der Kalkſpath, ſo daß eine beſtimmte Linie als einzige Axe hervortritt, ſo bricht der Cryſtall als einariger Cryſtall das Licht doppelt. Eben das iſt der Fall, wenn im Octaëder zwar CEDF ein Quadrat bleibt, aber die beiden Spitzen nicht aus gleichſeitigen, ſondern aus gleichſchenkligen Dreiecken gebildet ſind; dann iſt AB die einzige Axe und der Cryſtall bricht das Licht dieſer Form gemäß doppelt. Andre Mineralien haben zwei geometriſche Axen, zum Beiſpiel das vierſeitige Prisma mit nicht quadratiſcher Grundfläche, wie der Topas, deſſen Cryſtalle prismatiſch mit rautenförmiger Baſis ſind. Brewſter führt die hieher gehörigen Betrachtungen noch weiter aus, indem er zeigt, wie zwiſchen den mehreren Linien, die man Axen nennen könnte, zum Beiſpiel im Rhomboëder zwiſchen den von der Mitte einer Seite zur Mitte der gegenüberliegenden gezogenen, ſich jene eine Hauptaxe als gegen dieſe Axen ſymmetriſch liegend ergiebt, und ſo weiter.

An dieſe Beſtimmung, welche die genaue Verbindung zwiſchen der geometriſchen Geſtalt des Cryſtalles und ſeiner Einwirkung auf das Licht zeigt, hat Mitſcherlich die ganz neue Bemerkung gefügt, daß auch bei der Ausdehnung durch die Wärme die Cryſtalle ſich nach ähnlichen Geſetzen verſchieden zeigen. Die Cryſtalle, welche keine doppelte Strahlenbrechung zeigen, dehnen ſich nach allen Seiten gleich aus und ihre Winkel bleiben bei jeder Erwärmung ungeändert. Die Cryſtalle mit einer Axe dehnen ſich nach der Richtung der Axe

anders aus, als nach den übrigen Richtungen, und daher ändern ſich die Winkel dieſer Cryſtalle bei zunehmender Erwärmung. In den Cryſtallen mit zwei Axen iſt die Ausdehnung nach allen drei Richtungen verſchieden, ſtatt daß in denen mit einer Axe die Ausdehnung nach den beiden Dimenſionen, welche auf die eine Axe ſenkrecht ſind, gleich iſt.

Endlich ſteht hiemit auch noch Fresnel's Bemerkung, daß man ſelbſt das Glas durch ungleichen Druck doppelt brechend machen kann, in Verbindung. Fresnel verband vier Prismen A, B, C, D (IX. Fig. 43), die neben einander gelegt waren, ſo, daß ſie vermittelſt eines nach der Längenrichtung gehenden ſtarken Druckes in eine ungewöhnliche Spannung ihrer Theilchen verſetzt wurden; die Zwiſchenräume wurden nun durch andre Prismen E, F, G, H, die keinem Drucke ausgeſetzt wurden, ausgefüllt; ein auf die Vorderfläche treffender Strahl ging dann durch dieſe vermittelſt eines Firniſſes zu einer Maſſe verbundenen Gläſer und zeigte ſich an der Hinterfläche als geſpalten oder doppelt gebrochen, wie es bei den doppelt brechenden Cryſtallen der Fall iſt.

Theoretiſche Betrachtungen über die doppelte Brechung.

Die Erklärung dieſer Erſcheinungen hat nicht unbedeutende Schwierigkeiten. Folgen wir zuerſt Newton's Anſicht, ſo müſſen wir offenbar einräumen, daß die Lichttheilchen nicht alle einer gleichen Anziehung ausgeſetzt ſind, daß nämlich in den Cryſtallen mit einer Axe zwar einige Lichttheilchen, nämlich die der gewöhnlichen Brechung folgenden, eine immer gleiche Geſchwindigkeit erlangen, die übrigen aber eine nach der Lage des Strahles gegen die Axe ungleiche Geſchwindigkeit annehmen. Hier würde es uns nun freilich nicht ſo ſehr überraſchen, eine von der Richtung der Axe abhängende Anziehungskraft zu bemerken, da alle Cryſtalliſation auf einer regelmäßig ungleich vertheilten Anordnung der Materie zu beruhen ſcheint; aber der Grund, warum nur einige Lichttheilchen der einen Art von Anziehung folgen, andre Theilchen der andern, bleibt völlig unerklärt. Bemerkenswerth iſt es indeß, daß Laplace aus der bloßen Vorausſetzung, daß die Geſchwindigkeit der Theilchen im ungewöhnlichen Strahle nach einem beſtimmten Geſetze veränderlich ſey, die für die doppelte Brechung geltenden Geſetze, als hieran nothwendig geknüpft, nachgewieſen hat, und es läßt ſich wohl annehmen, daß ein in der Lage der Theilchen liegendes Geſetz der Anziehung dieſe Geſetze der ungewöhnlichen Brechung noch genauer begründen könnte. Aber warum ſind nur einige Lichttheilchen dieſer Kraft ausgeſetzt? — Die Beantwortung dieſer Frage iſt offenbar mit der zweiten Frage ſehr nahe verbunden, warum die beſtimmte Lage eines zweiten Cryſtalles die ſchon durch einen Cryſtall gegangenen Strahlen zu ungleichen Brechungen veranlaßt. Schon Newton hat geäußert, es müſſe hier auf Eigenſchaften ankommen, die der einen Seite des Strahles anders als der andern Seite eigen ſind, und Biot hat dieſe Anſicht, die in neuern Zeiten noch auf andre Weiſe neue Stützen fand, ſehr vollſtändig ausgebildet. Ich glaube die Hauptbeſtimmungen ſeiner Anſicht in folgende Darſtellung faſſen zu können.

Obgleich wir von der Geſtalt und ſonſtigen Beſchaffenheit der Lichttheilchen ſo wenig wiſſen, ſo finden wir uns doch hier genöthigt, ihnen eine durch beſondre Eigenſchaften ausgezeichnete Axe beizulegen. Die im gewöhnlichen Sonnenſtrahle oder in andern Lichtſtrahlen zu uns gelangenden Lichttheilchen haben dieſe Axe nach den mannigfaltigſten Richtungen gewandt, und behalten auch dieſe mannigfaltigen Richtungen bei der Brechung in den einfach brechenden Körpern; die doppelt brechenden Körper aber beſitzen die Eigenſchaft, die Axen der Lichttheilchen in beſtimmte Richtungen zu zwingen oder die Lichttheilchen zu polariſiren. Wenn man ſich durch den Weg des Strahles im Innern des Körpers und die Axe der Cryſtalltheilchen, die der Strahl trifft, eine Ebne gelegt denkt, ſo läßt ſich das Verhalten des Strahles bei den wiederholten Brechungen aus der Vorausſetzung erklären, daß die Lichttheilchen des im doppelt brechenden Cryſtall gewöhnlich gebrochenen Strahls ihre Axen in dieſer Ebne haben, ſtatt daß die Axen der den ungewöhnlich gebrochenen Strahl bildenden Theilchen ſenkrecht gegen die durch die Bahn des ungewöhnlichen Strahles und die Axen der Cryſtalle gelegte Ebne ſind. Der Cryſtall muß alſo eine Kraft beſitzen, die Lichttheilchen aus ihrer ganz verſchiedenen Stellung in jene zwei geordneten Stellungen zu bringen, und die Lichttheilchen müſſen ſogleich beim Eintritte in den Cryſtall dieſe Stellungen annehmen, welche ſie dann nicht nur beim Fortgange im Cryſtalle ſelbſt, ſondern auch nach ihrem Wiederhervorgehen in die Luft behalten. Die eine dieſer Stellungen macht die Lichttheilchen geeignet, auch in dieſem Cryſtalle der gewöhnlichen Brechung zu folgen, während die andre Stellung ſie der ungewöhnlichen Brechung unterwirft. Erreicht nun der eine oder der andre dieſer Strahlen einen Cryſtall, deſſen Axen denen des vorigen parallel ſind, ſo iſt kein Grund, warum ſich die Stellung der Axen ändern ſollte, und da ſie auch hier gegen die Axe des zweiten Cryſtalles eben die Lage, wie im erſten haben, ſo befolgen ſie auch gleiche Brechungsgeſetze; der gewöhnlich gebrochene folgt ganz den Geſetzen der gewöhnlichen Brechung, der ungewöhnliche denen der ungewöhnlichen Brechung. Stellt man dagegen den zweiten Cryſtall ſo, daß ſeine Axe in einer gegen die durch den Strahl und die Axe des erſtern gelegten Ebne ſenkrechten Ebne liegt, ſo iſt zwar wieder kein Grund, warum die Axen der Lichttheilchen ihre Lage ändern ſollten, aber die in dem zuerſt gewöhnlich gebrochenen Strahle fortgehenden Theilchen haben jetzt die Lage, welche nach der Stellung des zweiten Cryſtalls eine ungewöhnliche Brechung zur Folge hat, und die Theilchen in dem Strahle, der ungewöhnlich gebrochen war, haben die der gewöhnlichen Brechung entſprechende Lage, jeder der beiden Strahlen folgt daher hier andern Geſetzen, als im erſten Cryſtalle, ohne doch in zwei neue Strahlen zerſpalten zu werden.

Nun läßt ſich auch der allgemeine Fall, wo die durch den Strahl und die Axen des zweiten Cryſtalles gehende Ebne eine ſchiefe Richtung gegen diejenige hat, wornach ſich die Lage der Lichttheilchen im erſten Cryſtall richtete, leicht beurtheilen. Sowohl die Theilchen des einen als die des andern, aus

dem erſten Cryſtall kommenden Strahles haben nicht die von der Axe des zweiten Cryſtalles geforderte Lage; die Einwirkung dieſes Cryſtalles bringt ſie alſo wieder in zwei Abtheilungen, aber die Menge der für die eine Abtheilung ausgewählten Theilchen iſt nicht mehr der Menge der für die andre beſtimmten gleich, ſondern größer für diejenigen, die am wenigſten aus ihrer bisherigen Richtung gebracht werden. Iſt alſo die Ebne des zweiten Cryſtalles, in welcher die den gewöhnlichen Geſetzen folgenden Theilchen ihre Axen haben müſſen, nur um 10 oder 20 Grad von der Ebne entfernt, in welche der erſte Cryſtall die Theilchen des gewöhnlich gebrochenen Strahls gebracht hatte, ſo nehmen die meiſten im gewöhnlich gebrochenen Strahl enthaltenen Theilchen die Lage jener Ebne an, und nur wenige ſtellen ſich in die der ungewöhnlichen Brechung angehörende Ebne, oder mit andern Worten: der gewöhnlich gebrochene Strahl des erſten Cryſtalls zerlegt ſich in einen ziemlich ſtarken gewöhnlich gebrochenen und in einen ſchwachen ungewöhnlich gebrochenen Strahl. Aehnliche Beſtimmungen ergeben ſich für den im Zuſtande der ungewöhnlichen Brechung durch den erſten Cryſtall gegangenen Strahl und für einen größern Winkel, den beide Hauptſchnitte mit einander machen.

Dieſe Darſtellung, wenn ſie auch zu hypothetiſch ſcheinen mag, um als den wahren Grund der Erſcheinungen ausſprechend angeſehen zu werden, bringt doch wenigſtens die bis jetzt betrachteten Erſcheinungen in einen Zuſammenhang, der die Ueberſicht der mannigfaltigen Phänomene ſehr erleichtert, und hat in dieſer Hinſicht gewiß einen hohen Werth.

Die Undulationstheorie bietet für einen Theil der Erſcheinungen eine ſehr angemeſſene Erklärung dar. Schon Huyghens hatte dieſes mit dem ihm eigenthümlichen großen Scharfſinne gezeigt, da indeß die neuern Entwickelungen der Undulationstheorie eine noch angemeſſenere Darſtellung gegeben haben, ſo will ich nur dieſe hier in einem kurzen Abriſſe mittheilen. Die gewöhnliche Beſtimmung der Fortpflanzung der Aetherwellen ſetzt voraus, daß der Aether nach allen Richtungen gleich elaſtiſch ſey, und in der That kann auch wohl kein andrer Fall da angenommen werden, wo die Körpertheilchen, zwiſchen welchen der Aether enthalten iſt, eine gleichmäßige Austheilung haben; aber in einem cryſtalliſirten Körper iſt es nicht unmöglich, daß die nach beſtimmten Richtungen anders als nach den übrigen Richtungen wirkenden Attractionskräfte dem Aether eine andre Elaſticität nach der einen als nach der andern Richtung geben oder bewirken, daß die von ihrem Gleichgewichtszuſtande entfernten Theilchen nach der einen Richtung mit mehr Gewalt als nach der andern zu demſelben zurück geführt werden. Nimmt man eine ſolche Ungleichheit an, ſo iſt die Geſtalt einer von einem Mittelpunkte ausgehenden Welle nicht mehr kugelförmig, ſondern ſphäroidiſch oder ellipſoidiſch,[1] und ihre Fortpflanzung von dem Punkte, wo ſie ausgeht, ſtellt ſich, als unter ſich ähnlichen

[1] Ein Sphäroid hat nur eine Axe und alle darauf ſenkrechte Querſchnitte ſind Kreiſe, während die durch die Axe gehenden Schnitte Ellipſen ſind; beim Ellipſoid ſind auch die auf jene Axe ſenkrechten Schnitte Ellipſen.

Ellipſoiden um jenen Punkt entſprechend, dar. Da, wo eine Lichtwelle einen Cryſtall trifft, entſtehen um die Punkte, wo ſie nach und nach die Oberfläche deſſelben erreicht, ſolche ellipſoidiſche Wellen, und die Fortpflanzung des Strahles hängt nun nach eben den Regeln von der gemeinſchaftlichen Wirkung dieſer Wellen, wie in den frühern Betrachtungen von den ſich gleichſam in einander verlaufenden Kreiswellen [1] ab; da zeigt ſich, daß die Richtung des auf dieſe Weiſe im Innern des Cryſtalles fortgepflanzten, ungewöhnlich gebrochenen Strahles nach den Geſetzen beſtimmt wird, die ich bei den Cryſtallen mit einer Axe nachgewieſen habe.

Dieſe theoretiſche Beſtimmung iſt unſtreitig von einem ſehr bedeutenden Werthe; aber eine große Schwierigkeit ſcheint ſie dennoch übrig zu laſſen. Sie wiſſen, daß in dieſen Cryſtallen nicht bloß ein ungewöhnlich gebrochener, ſondern auch ein gewöhnlich gebrochener Strahl vorhanden iſt, und daß wir alſo zwei Syſteme von Wellen, ein kugelförmiges und ein elliptiſches, annehmen müſſen, folglich auch zwei Arten von Aether, deren einer, nach allen Richtungen gleich elaſtiſch, der einen Art von Aetherwellen ihre Entſtehung giebt, der andre der andern Art von Wellen. Poiſſon bemerkt zwar nicht mit Unrecht, ſo gut wie Lichtwellen und Schallwellen in der Atmoſphäre zugleich fortgehen, jene im Aether, dieſe in der Luft fortgepflanzt, ſo laſſe ſich auch hier ein zweifaches Syſtem von Wellen annehmen; aber ganz treffend ſcheint dieſe Vergleichung doch nicht zu ſeyn und daher ſcheint der Vorwurf, daß man zwei Aetherarten bedürfe, immer noch zu beſtehen. Dieſes iſt die eine Schwierigkeit. Eine zweite ſcheint mir die zu ſeyn, daß auch beim Durchgange durch die Luft die Eigenſchaft der Wellen, die vermöge jenes zweiten Aethers erlangt iſt, fortdauert, und daß ſie nun in dem zweiten Cryſtalle wieder die den dortigen zwei Wellenſyſtemen entſprechenden Veränderungen annimmt. Ich werde bald noch etwas mehr von den Bemühungen, dieſen bleibend ungleichen Zuſtand beider Lichtſtrahlen zu erklären, ſagen, aber auch dann das Bekenntniß wiederholen müſſen, daß mir hier noch viel Dunkelheit übrig zu bleiben ſcheint.

Vierundvierzigſte Vorleſung.

Die neulich betrachteten Erſcheinungen, welche darauf hinwieſen, daß der Lichtſtrahl bei ſeinem Durchgange durch den doppelt brechenden Cryſtall eine bleibende Modification erhalten habe und nun nicht mehr an allen Seiten gleich ſich darſtelle, haben ein ganzes Jahrhundert lang allein da geſtanden, ohne durch andre Verſuche mehr aufgeklärt zu werden; aber endlich hat ſich eine Reihe neuer Phänomene, wobei das Licht eine eben ſolche Polariſirung erleidet, den Beobachtern dargeboten.

[1] Aehnlich dem, was bei der Reflexion gezeigt worden iſt.

Der von einem Spiegel zurückgeworfene Strahl wird nicht immer von einem zweiten Spiegel reflectirt.

Wir ſind gewohnt, anzunehmen, daß da, wo ein Lichtſtrahl auf eine Spiegelfläche fällt, unbedingt in allen Fällen eine Zurückwerfung eintreten müſſe; aber wenn dieſer Spiegel eine unbelegte Glasplatte oder ein geſchliffener Obſidian[1] oder ein ähnlicher Körper iſt, ſo leidet dieſe Behauptung eine regelmäßige und ſeltſam ſcheinende Ausnahme, die Malus zuerſt (im J. 1810) entdeckt hat. Man bedient ſich zu dem Verſuche am beſten in Ermangelung des Obſidians eines gewöhnlichen, aber auf der Hinterſeite geſchwärzten Glaſes; durch dieſes Ueberziehen der Hinterfläche mit ſchwarzer Tuſche oder einem ähnlichen Stoffe raubt man dieſer die Fähigkeit, das Licht zu reflectiren, erhält ſo die Strahlen bloß von der Vorderſeite und wird nicht durch die jenſeits des Glaſes liegenden Gegenſtände geſtört. Hier zeigen ſich nun folgende Erſcheinungen. Fällt von einer Lichtflamme der Strahl auf eine ſolche Spiegelplatte, ſo wird er bekanntlich bei jedem Einfallswinkel reflectirt; aber dieſer reflectirte Strahl iſt nicht immer fähig, von einer eben ſolchen zweiten Spiegelfläche abermals zurückgeworfen zu werden, ſondern wenn der Strahl eine Neigung von 34 Gr. gegen die erſte Spiegelfläche hatte, ſo kann man die zweite Spiegelfläche ſo ſtellen, daß er gar nicht reflectirt wird. Um dieſen Verſuch anzuſtellen, dient am beſten eine von Biot angegebene Vorrichtung.[2] Man läßt (IX. Fig. 35) auf einem Geſtelle mehrere parallele Ringe C, D, E ſo an einander befeſtigt aufſtellen, daß ſie ein offenes Rohr bilden oder daß ihre Mittelpunkte in grader Linie liegen. An dem Verbindungsſtücke dieſer Ringe iſt bei F ein Gradbogen GH feſt angebracht und ein Spiegel von der vorhin erwähnten Art iſt an F ſo befeſtigt, daß er ſich um F, den Mittelpunkt des Kreisbogens, drehen läßt. Dieſem Spiegel giebt man die Neigung von 34 Gr. gegen die Axe der Röhre und ſtellt die Flamme ſo, daß ein bei O ſtehendes Auge ſie in der Mitte der Röhre im Spiegel ſieht. In dem erſten Ringe E iſt ein beweglicher Ring, der ſich nämlich in der Faſſung E um die gemeinſchaftliche Axe des Rohres drehen läßt; mit dieſem iſt ein Gradbogen MN und ein um deſſen Mittelpunkt K beweglicher Spiegel KL verbunden. Stellt man nun auch dieſen auf 34 Gr., das heißt ſo, daß der durch die Axe des Rohres gehende Strahl 34 Grad mit der Ebne des Spiegels macht, ſo iſt alles zu dem Verſuche vorbereitet. Da der Ring E und mit ihm der Spiegel um die Axe des Rohres gedreht werden können, ſo wollen wir den Verſuch mit derjenigen (auf dem Rande des bei E befindlichen Kreiſes bemerkten) Stellung anfangen laſſen, wo beide Spiegel parallel ſind; ſieht man bei dieſer Stellung des zweiten Spiegels von P her in denſelben, ſo erblickt man die geſpiegelte Lichtflamme, nämlich ihr im erſten Spiegel

[1] Ein dunkles glasartiges Mineral.

[2] In der neueſten Zeit hat man mannigfaltige andere Einrichtungen von Polariſationsinſtrumenten vorgeſchlagen, von denen die von Airy und Nörrenberg die beſten ſeyn dürften. (M.)

dargeſtelltes Bild im zweiten Spiegel, ohne etwas Ungewöhnliches zu bemerken; aber ſchiebt man nun den Ring E in ſeiner Faſſung fort, ſo daß der Spiegel nach und nach einen Umlauf um die Axe des Rohres macht, ſo ſieht man das Bild der Flamme, wenn man auch die Stellung P des Auges ſo ändert, daß man ſie fortwährend im Spiegel ſieht, allmälig matter werden, und wenn die Drehung von der erſten Stellung an um 90 Grade fort gegangen iſt, ſo verſchwindet dieſes Bild faſt gänzlich, ſo daß man beinahe ſtreng ſagen kann, die einmal reflectirten Strahlen ſind nun für eine zweite Reflexion unfähig geworden.

Dieſe merkwürdige Erſcheinung, daß die einmal reflectirten Strahlen nur bei beſtimmter Stellung des zweiten Spiegels zurückgeworfen werden, läßt ſich, wenn man die Stellung der Spiegel ſo vorausſetzt, daß ſie 34 Gr. gegen den Strahl geneigt ſind, ſo ausdrücken, daß die zweite Reflexion ohne Schwierigkeit ſtatt findet, wenn beide Reflexionsebnen zuſammenfallen, hingegen gänzlich verſchwindet, wenn eben dieſe Ebnen auf einander ſenkrecht ſind. Wenn Sie überlegen, daß bei paralleler Stellung der Spiegel das zweimal zurückgeworfene Bild ſich zeigt, daß bei einer Drehung des Ringes E um 90° nach einer oder der andern Seite das Bild verſchwindet, und — was ich zum Vorigen noch hinzufügen muß, — daß es bei einer über 90° hinausgehenden Drehung allmälig wieder erſcheint und bei 180° ſeine ganze Helligkeit wieder erhält, ſo werden Sie dieſe Ausdrücke gewiß verſtehen.

Wählt man für die Stellung der Spiegel an den Gradbogen einen von 34° verſchiedenen Winkel, ſo verliert zwar bei der Drehung des zweiten Spiegels das Bild an Glanz, aber nicht in ſo bedeutendem Maaße, jener Winkel heißt daher der eigentliche Polariſationswinkel und die unter dieſem Winkel zurückgeworfenen Strahlen heißen polariſirte Strahlen, polariſirtes Licht.

Da es angenehm iſt, einen ſo merkwürdigen Verſuch auch ohne Hülfe von Inſtrumenten anſtellen zu können, ſo will ich noch eine zwar minder vollkommene, aber leicht einzurichtende Anordnung des Verſuches angeben. Man legt (IX. Fig. 36) ein gewöhnliches dreieckiges Lineal, deſſen Winkel A man zu 34 Grad hat ſchneiden laſſen, horizontal, ſtellt in a b ein gutes ebnes Glas, das man an der Hinterſeite mit Tuſche geſchwärzt hat, vertical auf, und giebt der Lichtflamme L die Stellung, daß das bei B gehaltene Auge die Flamme bei c geſpiegelt ſieht; dann iſt die Reflexionsebne horizontal und der Reflexionswinkel 34 Grad. An B wird nun ein keilförmig geſchnittener Körper e f geſetzt, der auch einen Winkel von 34 Grad hat, ſo daß ein auf ihn befeſtigtes, gegen den Horizont geneigtes, hinten geſchwärztes Glas den horizontal zurückgeworfenen Strahl unter dieſem Winkel empfängt, und nun ſtellt man das Auge oberhalb e f ſo, daß man im Spiegel e f das in a b dargeſtellte Bild der Lichtflamme ſieht; dieſes erſcheint ſehr matt, wird aber ſogleich lebhafter, wenn man die Stellung des zweiten Spiegels erheblich ändert. Die zweite Reflexionsebne iſt hier vertical, während die erſte horizontal war.

Dieſe Erfahrung, daß der Lichtſtrahl unter gewiſſen Umſtänden der Zurückwerfung nicht mehr unterworfen iſt, leitet wohl von ſelbſt zu der Frage, ob denn etwa in dem Falle, wo keine Zurückwerfung ſtatt findet, alles Licht durchgelaſſen wird, und dieſe Vermuthung findet ſich beſtätigt. Zwar iſt, wenn man die Strahlen bei der zweiten Spiegelung nicht auf einem an der Hinterſeite geſchwärzten, ſondern auf einem durchſichtigen Glaſe auffängt, die Menge des durchgehenden Lichtes in allen Fällen, auch dann, wenn erheblich viel Licht zurückgeworfen wird, ſo groß, daß man die Vermehrung in dem Falle, wo kein Licht reflectirt wird, nicht ſo auffallend bemerkt; aber wir werden bald Erſcheinungen kennen lernen, die in der Färbung des Lichtes uns die deutlichſten Beweiſe für die Durchlaſſung derjenigen Strahlen geben, welche bei der Stellung des Spiegels auf 90° der Zurückwerfung entzogen werden.

Wenn man ſtatt der Lichtflamme das Licht einer weißen Wolke oder des bedeckten Himmels einfallen läßt (der blaue Himmel iſt nicht ſo paſſend dazu), ſo ſieht man, in den Spiegel **KL** blickend (IX. Fig. 35), das Bild des hellen Himmels dunkel, faſt ſchwarz werden, und überzeugt ſich, daß auch dieſe Strahlen faſt gänzlich ihre Fähigkeit, zurückgeworfen zu werden, verlieren. Zwar tritt kein gänzliches Unſichtbarwerden ein, aber eine ſo auffallende Dunkelheit, daß man die Wirkung hier, ſo gut wie bei der Lichtflamme, wenn gleich auch dieſe nicht völlig unkenntlich wird, durchaus nicht verkennen kann.

Geſetz, nach welchem der Polariſationswinkel ſich beſtimmt.

Man bedient ſich bei dieſem Verſuche am beſten des Glaſes oder glasartiger Körper, aber keinesweges ſind dieſe allein zur Hervorbringung der Polariſirung geeignet. Wenn an unſerm Inſtrumente die Röhre ſo geſtellt wird, daß ſtatt des erſten Spiegels **F** eine horizontale Waſſerfläche dient, ſo findet man, indem man als zweiten Spiegel den Glasſpiegel beibehält und ihn auf dem Polariſationswinkel von 34 Grad läßt, die Stellung der Lichtflamme aber bald höher bald tiefer wählt und die Röhre ſo neigt, daß das im Waſſer geſpiegelte Bild ſeine Strahlen auf **LK** wirft, ein eben ſolches Verſchwinden des Spiegelbildes, nur mit dem Unterſchiede, daß der Waſſerſpiegel ungefähr 37° geneigt gegen die Axe der Röhre ſeyn muß, wenn der Erfolg am beſten ſeyn ſoll, oder daß hier der Polariſationswinkel 37° iſt ſtatt 34°. Brewſter giebt an, daß eine Diamantfläche die Polariſirung bei 22° Neigung hervorbringt, und ſo hat jeder Körper einen andern ihm zugehörigen Winkel der vollkommenſten Polariſirung; aber die mit dem Lichtſtrahle vorgegangene Veränderung zeigt ſich in allen Fällen als dieſelbe.

Dieſer Polariſationswinkel ſteht in einer merkwürdigen Beziehung zu der Stärke der Brechung, welche das Licht in den verſchiedenen Körpern leidet. Nach Brewſter's Entdeckung iſt nämlich der Polariſationswinkel derjenige Einfallswinkel, bei welchem der eindringende, gebrochene Strahl mit dem zurückgeworfenen Strahle einen rechten Winkel macht. Sie wiſſen, daß im Glaſe für den gebrochenen Strahl **BE** (IX. Fig. 37) der Winkel **FBE** leicht aus

dem Winkel ABC, den der einfallende Strahl AB mit dem Einfallslothe BC macht, beſtimmt wird, und daß für den reflectirten Strahl BD der Winkel CBD=CBA iſt. Nun findet man für Glas, deſſen Brechungsverhältniß $^2/_3$ iſt, daß mit dem Neigungswinkel ABG=34° oder ABC=56° der Winkel EBF=33° 33′ zuſammengehören würde, alſo DBE=34° + 56° 27′ = 90° 27′ ſeyn würde; das Glas müßte das Brechungsverhältniß 0,6745 oder beim Hervorgehen des Strahles 1,4826 haben, wenn genaue 90° herauskommen ſollten, oder wenn der Polariſationswinkel ganz genau 34° ſeyn ſollte.[1] Hingegen ein Flintglas von der Brechung = 1,64 fordert hiernach einen Winkel von 31° 22′, um die vollkommenſte Polariſirung hervorzubringen.

Dieſes Geſetz findet ſelbſt da ſtatt, wo der Lichtſtrahl nicht aus Luft, ſondern aus einem andern flüſſigen Körper in einen feſten Körper übergeht. Bedeckt man das Glas mit Terpentinöl, ſo leidet der Lichtſtrahl beim Uebergange aus dieſem in Glas gar keine Brechung und der Einfallswinkel muß daher 45° ſeyn, damit der eindringende und der zurückgeworfene Strahl einen rechten Winkel mit einander machen, und wirklich findet man 45° dann als Polariſationswinkel.

Bei einigen Körpern, namentlich ſolchen, die einen kleinen Einfallswinkel fordern, wird das Licht nicht vollſtändig polariſirt; hier nämlich beträgt der nach Verſchiedenheit der Körper ſehr ungleiche Antheil von Licht, der bei der Zurückwerfung nicht polariſirt wird, ſo viel, daß man keine ſo vollſtändigen Erfolge wie bei andern Körpern wahrnimmt. Daß aber überhaupt bei keinem Einfallswinkel eine durchaus vollkommene Polariſirung ſtatt finden kann, ſcheint ſchon aus der ungleichen Brechung der Farbenſtrahlen zu erhellen; denn beim Fraunhofer'ſchen Flintglaſe müßten die rothen Strahlen bei 31° 34′, die violetten bei 30° 53′ vollkommen polariſirt ſeyn; es bleibt alſo bei jedem Winkel noch etwas unpolariſirtes Licht übrig, und mit dieſem verbindet ſich dasjenige, welches, als zerſtreutes Licht von der Oberfläche zurückgegeben, dieſer Veränderung gar nicht unterworfen iſt.[2]

Für diejenigen Körper, die nicht wegen der zu großen Menge des letztern untauglich für dieſe Beſtimmung ſind, läßt ſich daher das Brechungsverhältniß finden, wenn ſie auch undurchſichtig ſind, indem man den Winkel der vollſtändigſten Polariſirung beſtimmt. Selbſt Schwefel, Siegellack, Porcellan, geglättetes Papier und andre Körper, obgleich ſie viele farbige, zerſtreute Strahlen reflectiren, zeigen doch jenes Verſchwinden ihres Spiegelglanzes, und man bemerkt, namentlich beim Schwefel, daß der Polariſationswinkel kleiner als bei dem Glaſe iſt. Auch der Spiegelglanz der Metalle geht in manchen Fällen ſehr deutlich verloren, wenn man ſie ſtatt des erſten Spiegels anwendet und ihr Bild unter dem richtigen Winkel im zweiten Spiegel wahrnimmt.

[1] Malus und Biot geben für Glas 35° 25′ als den Polariſationswinkel an; da aber die Gläſer ſo ungleich ſind, ſo habe ich lieber den beibehalten, welcher dem Brechungsverhältniß $^2/_3$ beinahe entſpricht.

[2] Jeder Lichtſtrahl, der unter einem andern als dem Polariſationswinkel auffällt, wird unvollkommen polariſirt. (M.)

Polariſirung beim Durchgange durch Glasplatten.

Dieſelbe Veränderung in den Eigenſchaften des Lichtſtrahls findet beim Durchgange durch mehrere Glasplatten ſtatt. Wenn mehrere Platten guten Glaſes mit parallelen Oberflächen parallel und ſo aufgeſtellt werden, daß ein Lichtſtrahl ſie unter 34 Grad Neigung trifft, ſo wird bekanntlich nur ein Theil des Lichtes von der erſten Platte durchgelaſſen und der übrige reflectirt; eben das geſchieht an der zweiten, dritten, vierten Platte, aber immer wird derjenige Theil des Lichtes, welcher der Zurückwerfung unterworfen iſt, geringer, und nach dem Durchgange durch eine große Reihe von Platten hat der Strahl die Eigenſchaft erlangt, von einer mit den vorigen parallel gehaltenen Platte gar nicht mehr zurückgeworfen zu werden, ſondern ungeſchwächt durchzugehen und ſich als polariſirt zu zeigen. Sind die Platten nicht unter 34°, ſondern unter einem andern Winkel geneigt, ſo tritt der Erfolg erſt bei einer größern Anzahl vollſtändig ein; aber die bald zu erwähnenden Kennzeichen einer theilweiſen Polariſirung zeigen ſich auch dann ſchon bei wenigen Platten.

Dieſe verſchiedenen Mittel ſetzen uns alſo in den Stand, dem Lichtſtrahle eine ſolche Beſchaffenheit zu ertheilen, daß ſeine verſchiedenen Seiten ungleiche Eigenſchaften beſitzen. Bei gewöhnlichem Lichte iſt es ganz gleichgültig, ob ein horizontaler Lichtſtrahl auf einen Spiegel ſo fällt, daß die Reflexionsebne vertical iſt (d. h. der zurückgeworfene Strahl ſich in der durch den einfallenden gelegten verticalen Ebne befindet), oder ob dieſe Ebne horizontal iſt, in welchem letztern Falle man das Auge in eben der Höhe, wo der einfallende Strahl liegt, halten muß, um den reflectirten Lichtſtrahl zu erhalten; hier aber iſt dieſes nicht gleichgültig, und wenn ich im letzten Falle den Lichtſtrahl wenig oder gar nicht zurückgeworfen fände, ſo würde ich ſchließen, daß jener horizontale Strahl diejenige Modification, welche Polariſirung heißt, erlitten hätte, daß er alſo ſchon von einem andern Spiegel in verticaler Ebne reflectirt oder ſonſt einer polariſirenden Einwirkung ausgeſetzt geweſen ſeyn müſſe. Ebenſo fanden wir die durch doppelt brechende Cryſtalle durchgegangenen Strahlen ſo verändert, daß ſie nach einer Richtung andre Eigenſchaften als nach der darauf ſenkrechten Richtung zeigten; es bietet ſich daher die Frage dar, wiefern dieſe Polariſirung in doppelt brechenden Cryſtallen mit der hier betrachteten einerlei ſey oder nicht. Dieſe Frage läßt ſich auf mehrfache Weiſe leicht entſcheiden, und die Entſcheidung fällt dahin aus, daß beide Mittel zur Polariſirung des Lichtes genau gleiche Eigenſchaften des Lichtſtrahls hervorbringen.

Uebereinſtimmung der Polariſirung bei der Reflexion und bei der doppelten Brechung.

Sie erinnern ſich, daß ein durch den Doppelſpath gegangener gewöhnlich gebrochener Strahl auch in einem zweiten Doppelſpathe gewöhnlich gebrochen wurde, wenn die Hauptſchnitte beider Cryſtalle parallel waren; wir können alſo ſagen, bei dieſer Lage des zweiten Cryſtalles behalte der Strahl eben die

Polariſirung, die er ſchon hatte, indem er, auch wenn ein dritter Cryſtall hinzukäme, ſich beim Durchgange durch dieſen ſo verhalten würde, als wenn er nur durch einen Cryſtall gegangen wäre. Iſt der zweite Cryſtall zwar ſo geſtellt, daß ſeine vom Strahle getroffenen Oberflächen denen des erſten parallel ſind, aber zugleich ſo, daß der Hauptſchnitt des zweiten ſenkrecht gegen den des erſten iſt, ſo leidet der gedachte Strahl ganz die ungewöhnliche Brechung, ohne ſich zu ſpalten, und behält dabei die Eigenſchaft, in einem dritten Cryſtalle ſich ebenſo zu verhalten, als wenn der zweite nicht da geweſen wäre. Dagegen wenn der Hauptſchnitt des zweiten einen vom rechten Winkel verſchiedenen Winkel mit dem Hauptſchnitte des erſten macht, ſo wird ſowohl der Strahl, welcher im erſten gewöhnlich gebrochen war, als der ungewöhnlich gebrochene in zwei Strahlen geſpalten, und dieſe Strahlen haben nun ihre Beziehung auf die Axe des erſten Cryſtalles ganz verloren. Auf ähnliche Weiſe, wie hier der im erſten Cryſtalle gewöhnlich gebrochene Strahl, verhält ſich der unter dem Polariſationswinkel vom erſten Spiegel unſers Inſtrumentes reflectirte Strahl. Bringt man bei **D** einen Doppelſpath ſo an, daß der polariſirte Strahl ſenkrecht auf die natürliche Oberfläche deſſelben trifft, ſo bleibt dieſer Strahl auch nach dem Durchgange ebenſo polariſirt, ſowohl wenn der Hauptſchnitt des Cryſtalles mit der erſten Reflexionsebne parallel, als wenn er ſenkrecht auf ſie iſt, bei allen andern Stellungen zeigt er ſich nicht mehr ſo polariſirt, daß der zweite Spiegel ihn nicht zurückwerfen kann. Dieſe Verſchiedenheit zeigt ſich, wenn man in den zweiten Spiegel, der ſo geſtellt iſt, daß er den Strahl bei den vorigen Verſuchen nicht reflectirte, hineinſieht, dadurch, daß das Bild der Lichtflamme im zweiten Spiegel wieder erſcheint, wenn man dem Hauptſchnitte des Cryſtalles eine gegen die Reflexionsebne geneigte Stellung giebt, ſtatt daß es verſchwindet, wenn der Hauptſchnitt mit dieſer Ebne parallel oder darauf ſenkrecht iſt.

Um die Entſcheidung zu erhalten, ob der durch Zurückwerfung polariſirte Strahl dem im Cryſtalle gewöhnlich gebrochenen oder dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle entſpreche, muß man den polariſirten Strahl bei ſeinem Durchgange durch den Cryſtall noch genauer beobachten; dann findet man, daß der auf beide Oberflächen ſenkrechte Strahl ganz ungebrochen durchgeht, wenn die Ebne des Hauptſchnittes der erſten Reflexionsebne parallel iſt, daß ein geringer Theil des Strahles der ungewöhnlichen Brechung folgt, ein größerer Antheil dagegen gewöhnlich gebrochen wird, wenn der Hauptſchnitt wenig von dieſer Richtung abweicht, daß dieſer ungewöhnlich gebrochene Strahl immer mehr zunimmt, der gewöhnlich gebrochene aber immer mehr abnimmt, je mehr der Hauptſchnitt ſich der ſenkrechten Stellung gegen die Reflexionsebne nähert, daß bei 45° Neigung beide gleich ſind, bei 90° der gewöhnlich gebrochene ganz verſchwunden iſt. Dieſe Erſcheinungen ſtimmen mit dem, was ſtatt gefunden hätte, wenn jener den Cryſtall treffende Strahl ein durch einen erſten Cryſtall polariſirter, gewöhnlich gebrochener Strahl geweſen wäre, ſo genau überein, daß wir die ſichere Beſtimmung erhalten, daß der von einem

Spiegel unter dem Polariſationswinkel zurückgeworfene Strahl ganz dem durch einen Cryſtall, deſſen Hauptſchnitt mit der Reflexionsebne parallel liegt, hervorgebrachten gewöhnlichen Strahle gleicht.

Auf ähnliche Weiſe kann man ſich überzeugen, daß der durch viele Glastafeln unter einem ſchiefen Winkel, am beſten unter dem Polariſationswinkel, durchgelaſſene Strahl ſich ſo polariſirt findet, wie es bei dem ungewöhnlichen Strahle der Fall wäre, wenn er im Durchgehen durch einen Doppelſpath entſtanden wäre, deſſen Hauptſchnitt parallel mit der durch das Einfallsloth und den Strahl gelegten Ebne iſt.

Erklärung dieſer Erſcheinungen nach der Emiſſionstheorie.

Biot fügt, ſeiner ſchon früher angeführten Anſicht gemäß, hinzu, bei der Zurückwerfung von einer polirten Oberfläche werde, wenn der Einfallswinkel die genaue Größe des Polariſationswinkels hat, die Axe aller zurückgeworfenen Lichttheilchen in die Ebne der Zurückwerfung gebracht und ſenkrecht auf die Richtung des Strahles geſtellt, und daher ſey es erklärlich, daß am zweiten Spiegel kein Theilchen reflectirt werde. Sind nämlich nur diejenigen Theilchen der Zurückwerfung fähig, die gegen den zweiten Spiegel und ſeine Reflexionsebne in eine eben ſolche Stellung gebracht werden können, ſo kann keines jener Theilchen zurückgeworfen werden, wenn die Reflexionsebne ſenkrecht auf die vorige iſt, oder allgemein, wenn durch irgend eine Polariſirung die Axen aller Lichttheilchen ſenkrecht auf der Reflexionsebne des zweiten Spiegels ſind, indem dann die Kräfte, welche ſie in die Richtung dieſer Ebne bringen ſollten, offenbar auf beide Enden der Axe gleich wirken und daher nicht die — wie wir annehmen — zur Zurückwerfung erforderliche Lage hervorbringen können. Dagegen wenn die zweite Spiegelfläche nicht die Stellung hat, welche die Wirkung auf beide Enden der Axen der Lichttheilchen gleich macht, ſo werden einige Theilchen reflectirt, und zwar deſto mehrere, je größer die Abweichung der Reflexionsebne von jener vorhin angegebenen Lage iſt.

Biot nennt dieſe Polariſation die feſte oder bleibende Polariſation, weil die Lichttheilchen bei ihrem Fortgange eben die Stellung der Axen behalten. Er nennt einen Lichtſtrahl in Beziehung auf eine beſtimmte Ebne gewöhnlich polariſirt, wenn die Lichttheilchen ihre Axen in dieſer Ebne haben, hingegen ungewöhnlich in Beziehung auf dieſe Ebne polariſirt, wenn die Polariſationsaxen der Lichttheilchen ſenkrecht auf dieſe Ebne ſind.

Eigenſchaften des Achats und Turmalins.

Einige Mineralien haben die Eigenſchaft, das Licht zu polariſiren, indem ſie es durchlaſſen, und dasjenige Licht, welches ſchon dieſer Polariſirung entſprechend ankömmt, durchzulaſſen, dasjenige dagegen, welches ſenkrecht auf die dem Körper angemeſſene Polariſationsebne polariſirt ankömmt, gar nicht durchzulaſſen. Der Achat iſt ein ſolches Mineral, indem er, ſenkrecht auf ſeine

Schichtungen geſchnitten, das Licht großentheils in Beziehung auf dieſe Oberfläche gewöhnlich polariſirt und einen ſchon ſo polariſirt ankommenden Strahl recht gut, einen auf dieſe Ebne ſenkrecht polariſirten Strahl faſt gar nicht durchläßt. Beim Turmalin (namentlich beim rothbraunen, denn die blauen und grünen eignen ſich zu dieſen Verſuchen viel weniger) zeigt ſich dieß noch auffallender. Wenn man Turmalinplatten mit der Axe der prismatiſchen Säule, die der Turmalin als Cryſtall darſtellt, parallel ſchneidet, ſo wird, wenn man einen recht durchſichtigen Turmalin gewählt hat, das Licht gut durchgelaſſen. Hält man eine zweite ebenſo geſchnittene Platte der erſten parallel und zugleich ſo, daß in beiden die der Cryſtallaxe parallelen Linien gleiche Lage haben und die im Cryſtall mit der Axe parallelen Linien auch jetzt wieder parallel werden, ſo geht das Licht gut genug durch beide Platten; dagegen wenn man die eine Platte ſo dreht, daß ihre Ebne zwar immer noch der andern parallel bleibt, aber jene Axenrichtung in der einen nun ſenkrecht gegen die Axenrichtung in der andern wird, ſo wird das durchgehende Licht in hohem Grade geſchwächt, ja bei hinreichender Dicke der Platten gänzlich verdunkelt. Biot, der dieſe Eigenſchaft genauer unterſucht hat, bemerkt, daß ein aus dem Turmalin ſo, daß die Kanten mit der Axe parallel ſind, geſchnittenes Prisma durch den dünneren Theil des Prisma's die Gegenſtände doppelt zeigt, daß dagegen, wenn man denſelben hellen Gegenſtand durch den dickern Theil betrachtet, das eine Bild verſchwunden iſt. Die durch den dickern Theil gegangenen Strahlen ſind ſenkrecht gegen die Axe des Cryſtalles oder gegen die Kanten des Prisma's polariſirt oder ſie ſind die ungewöhnlich gebrochenen, während die gewöhnlich gebrochenen eine dickere Schicht nicht zu durchdringen vermögen. Hieraus erklärt ſich nun leicht, warum die durch eine erſte Platte von nicht zu geringer Dicke durchgegangenen Strahlen eine zweite nicht durchdringen, wenn die Axenrichtung der zweiten ſenkrecht auf die der erſten iſt, indem die aus der erſten hervorkommenden Lichttheilchen ſämmtlich diejenige Stellung haben, die, um die zweite zu durchdringen, die ungünſtigſte iſt. Und ſo wie hier die Wirkung der zweiten Platte, ob ſie das Licht durchläßt oder nicht durchläßt, durch die Richtung der in der erſten Platte erlangten Polariſirung beſtimmt wird, ſo geſchieht es auch bei andern polariſirten Strahlen; iſt die Ebne, in welcher ſie polariſirt ſind, ſenkrecht auf die Axe, ſo werden ſie durchgelaſſen, iſt ſie mit der Axe parallel, ſo werden ſie nicht durchgelaſſen, wofern die Dicke nicht zu gering iſt. Jene Axe der Cryſtalle iſt, wie hieraus ſchon von ſelbſt erhellt, die Axe doppelter Brechung, und wenn man in einer Turmalinplatte ihre Lage kennt, ſo dient die Platte, um ſogleich bei einem polariſirten Strahle die Richtung der Polariſation kennen zu lernen. Iſt ein Strahl nicht gänzlich in einerlei Richtung polariſirt, aber doch die Anzahl der nach einer gewiſſen Richtung polariſirten Theilchen vorwaltend, ſo bemerkt man, indem man ihn durch die Turmalinplatten gehen läßt, während man dieſe dreht, eine Schwächung des Lichtes, die bei einer Stellung am bedeutendſten iſt, und eine Verſtärkung des Lichtes, die in der auf jene Stellung

ſenkrechten Stellung am beſten hervortritt. Auf dieſe Weiſe kann man daher, wie Arago es von glühenden Körpern gezeigt hat, nachweiſen, wo etwas polariſirtes Licht ſich mit dem übrigen Lichte miſcht.

Erklärung der Polariſirung nach der Undulationstheorie.

Bei der Erklärung aller Erſcheinungen, die nicht von Polariſation abhängen, blieb die Undulationstheorie dem Grundſatze getreu, das Licht als dem Schalle analog anzuſehen, bei den Vibrationen nicht bloß eine kugelförmige Ausbreitung der Wellen anzunehmen, ſondern auch die Vibrationsbewegung der einzelnen Theilchen als ſenkrecht auf dieſe Wellenſchichten vorauszuſetzen. In Beziehung hierauf konnte man von einem verdünnten Aether in der einen Hälfte der Welle, von einem verdichteten in der andern Hälfte reden und das Entſtehen der Interferenzen nach den Geſetzen, wie ſie bei elaſtiſch flüſſigen Körpern ſtatt finden müſſen, erklären. Aber die Erſcheinungen der Polariſation ließen ſich nach dieſen Anſichten nicht erklären und Fresnel fand daher nöthig, in Beziehung auf ſie ganz andre Vorausſetzungen anzunehmen. Er bemerkte, daß die bis dahin gehegte Meinung, es müſſe die Materie, in welcher das Licht ſich fortpflanzt, ein elaſtiſches Fluidum ſeyn, in welchem die an einander liegenden Theilchen unmittelbar ſich berühren und ſich nach Verhältniß des Druckes zuſammendrücken laſſen, eine viel zu beſchränkte ſey, und daß man über die Art der Vibrationen der Lichtwellen eine andre Vorſtellung faſſen müſſe. Wenn die Vibrationen der Aethertheilchen nach der Richtung des Strahles gehen, wie wir es mit gutem Grunde beim Schalle annehmen, ſo iſt nicht einzuſehen, wie der Lichtſtrahl in Beziehung auf die eine Seite andre Modificationen leiden könne, als in Beziehung auf die um einen rechten Winkel von jener abſtehenden Seite; die Möglichkeit einer ſolchen Verſchiedenheit wird dagegen klar, wenn wir Quervibrationen vorausſetzen. Ohne jetzt nach der Entſtehungsart dieſer Vibrationen zu fragen, iſt es allerdings einleuchtend, daß hier die verſchiedenen Seiten des Strahles ungleich ſind, wenn wir zwar ein Fortgehen der Vibrationen von einer Kugelſchicht auf die nächſte annehmen, die Vibration ſelbſt aber als eine in der Kugelſchicht erfolgende Verſchiebung der Theilchen anſehen. Fresnel hat die Möglichkeit einer bei dieſer Querrichtung der Verſchiebung dennoch ſtattfindenden Fortpflanzung von einer Kugelſchicht zur andern nachgewieſen, indem er Folgendes bemerkt. Wenn wir uns einzeln ſtehende Körperchen, welche zu einem Gleichgewichte gelangt ſind, denken und ſie, um der leichten Vorſtellung willen, als in parallele Schichten geordnet anſehen, ſo könnten die in einer Schicht liegenden und in dieſer bleibenden nicht von ihrer Stelle weichen, ohne vermöge der nun geänderten Attractionen und Repulſionen auch in den Körpern der nächſten Schicht eine Aenderung der Lage hervorzubringen; mithin werde eine einmal erregte Quervibration ſich von Schicht zu Schicht fortpflanzen. Dieſe Bemerkung iſt richtig, aber ſie hebt nur den Zweifel nicht, warum denn nicht noch weit mehr die in derſelben Schicht liegenden Theilchen ihren

ſeitwärts liegenden Nachbarn dieſe Bewegung auch mittheilen, und warum der durch eine kleine Oeffnung eindringende Strahl nach der Richtung des Strahles, welche ſenkrecht auf jene Quervibrationen iſt, die ſtarken Wirkungen der Erleuchtung hervorbringt oder die Entſtehung neuer gleich ſtarker Quervibrationen zur Folge hat, während ſeitwärts nur die kaum merklichen Phänomene der Beugung des Lichtes ſtatt finden, in den Gegenden, wohin die Ausweichungen der Aetherteilchen grade gerichtet ſind und wo ſie, wie es ſcheint, grade die ſtärkſte Wirkung hervorbringen müßten.

Nach Fresnel's Vorſtellung ſollen wir uns nun dieſe Ausweichungen der einzelnen Theilchen im unpolariſirten Strahle als nach verſchiedenen Richtungen in ſo ſchneller Folge eintretend denken, daß keine einzelne Richtung der Vibrationen den Vorzug vor der andern hat; im polariſirten Strahle hingegen ſind dieſe Quervibrationen nur nach einer Richtung da, und die Veränderung, welche der Strahl bei der Polariſation leidet, beſteht alſo darin, daß die in unendlich ſchneller Folge wechſelnden Richtungen der Vibrationen in den unpolariſirten Strahlen hier dagegen in immer gleiche Richtungen gebracht werden, daß da, wo zwei Strahlen bei der doppelten Brechung hervorgebracht werden, durch eine Zerlegung nach zwei auf einander ſenkrechten Richtungen, die Vibrationen des einen Strahles in einer durch ſeine Richtung und die Richtung der Axe gehenden Ebne vorgehen, die des andern Strahles in einer Ebne ſenkrecht auf die durch die Richtung des Strahles und der Axe gelegte Ebne. Dieſe feſt beſtimmte Richtung der Transverſalvibrationen, oder die Zerlegung der mannigfaltigen Vibrationen in ſolche, die nur die eine oder die andre conſtante Richtung befolgen, kann durch die Brechung (ſo behauptet Fresnel) allemal hervorgebracht werden, ſowohl wenn die ungleiche Geſchwindigkeit der Strahlen, als wenn die Neigung der Wellen gegen eine Ebne es fordert.

Hat man nun dieſe Vorausſetzungen angenommen, ſo ſind freilich mehrere Erſcheinungen als leichte Folgerungen anzuſehen. Der polariſirte Strahl hat nun wirklich zwei Seiten in der Richtung der Quervibrationen, die ganz verſchieden von den um 90 Gr. davon entfernten Seiten ſind. Die entgegengeſetzt polariſirten, das heißt, in auf einander ſenkrechten Ebnen polariſirten Strahlen geben keine Interferenzen mehr mit einander (wie Fresnel durch Verſuche gefunden hat), weil dieſe ſo weſentlich verſchiedenen Vibrationen nicht verſtärkend und ſchwächend auf die von der Differenz der Wege abhängige Weiſe auf einander einwirken können; gleich polariſirte Strahlen zeigen dagegen die Interferenzen, weil hier Hingang und Rückgang der Theilchen zuſammentreffen oder einander gerade entgegengeſetzt ſeyn können, und dieß offenbar der Differenz der Wege entſprechend. Um die Interferenz bei unpolariſirten Strahlen zu erklären, iſt es offenbar zureichend, die Wechſel in der Richtung der Vibrationen als eine regelmäßige Folge beobachtend anzuſehen, wo dann allerdings, wenn in zwei Strahlen an beſtimmtem Orte die Richtung der Vibration einmal zuſammenſtimmt, dieſes unaufhörlich der Fall ſeyn wird, dagegen wenn die Länge der Wege um eine halbe Wellenlänge (das heißt, um den Zwiſchenraum,

der die Transverſalverſchiebungen, welche einander grade entgegengeſetzt ſind, trennt) verſchieden iſt, ſo entſteht die zerſtörende Interferenz.

Dieſe allerdings ſcharfſinnige, aber gewiß auch höchſt verwickelte Auskunft über die den Polariſationserſcheinungen entſprechende Beſchaffenheit der Lichtwellen hat Cauchy durch eine theoretiſche Unterſuchung zu beſtätigen geſucht. Die kurze Anzeige, die er ſelbſt von ſeiner Unterſuchung macht, reicht nicht hin, um dieſelbe ganz zu überſehen, und noch weniger um zu beurtheilen, ob denn die Vorausſetzungen, aus welchen er faſt genau alles das herleitet, was die Erfahrung ergiebt, Beifall verdienen. Er ſetzt keine nach der Natur flüſſiger Körper bedingte Verbindung der einzelnen Theilchen derjenigen Materie, in welcher das Licht ſich fortpflanzt, voraus, ſondern ſucht die Bewegungen zu beſtimmen, die bei getrennten, durch Attraction und Repulſion auf einander wirkenden Theilchen entſtehen können. Daß hier nun zuerſt die Folgerung hervorgeht, eine anfängliche, auf einen ſehr kleinen Raum beſchränkte Bewegung einiger Theilchen werde im Fortgange der Zeit eine auf die entlegnern Theilchen ſich fortpflanzende entſprechende Bewegung hervorbringen, die in jedem Momente in Erſchütterung geſetzten Theilchen werden in einer beſtimmten Fläche liegen und dieſe Welle werde fortſchreitend zu den benachbarten Theilchen übergehen, läßt ſich wohl überſehen. Aber ſchwieriger iſt es, den Grund einzuſehen, warum, wenn dieſe Verſchiebungen der Theilchen in einer Ebne liegen, eine Theilung dieſer Welle in drei Wellen (eigentlich ſechs, deren zwei und zwei gleiche entgegengeſetzte Richtungen haben) eintreten ſoll, deren jede eine verſchiedene Geſchwindigkeit beſitzt. Nimmt man dieß als richtig an, ſo läßt ſich wieder einſehen, daß unter gewiſſen Umſtänden die Zahl dieſer Strahlen oder Wellenſyſteme ſich auf zwei oder einen Strahl reduciren kann. Sind die anfänglichen Verſchiebungen der Theilchen zwar in einer Ebne, aber nach allen möglichen Richtungen in derſelben wechſelnd, ſo ſoll ſich aus dieſer Theorie ergeben, daß die entſtehenden drei Strahlen eine Polariſirung ganz in dem von Fresnel angenommenen Sinne haben, und daß jeder dieſer Strahlen bei der Fortpflanzung in einem ſich gleichen elaſtiſchen Mittel nun keine neue Spaltung mehr leidet u. ſ. w. Die ferneren Folgerungen findet Cauchy den Erfahrungen über die doppelte Brechung ſehr entſprechend und Fresnel's Vorſtellung von Quervibrationen gerechtfertigt; es kömmt aber hier alles darauf an, daß zuerſt die Gründe der allgemeinen Unterſuchung deutlicher entwickelt, dann die beſchränkenden Vorausſetzungen über die Geſetze der Wirkſamkeit der hier thätigen Kräfte geprüft werden und endlich die Frage vollſtändig entſchieden werde, ob in einer Rechnung, wo man allerdings manche Glieder der Formeln, ihrer Kleinheit wegen, weglaſſen dürfen wird, nicht eine zu große Willkühr in dieſer Hinſicht, dadurch aber Unſicherheit der ganzen Schlußfolge eintrete.

Ich breche dieſe verwickelten Betrachtungen ab, die freilich bei ſo mannigfaltigen und wunderbaren Eigenſchaften des Lichtes vielleicht nicht einfacher aufgefaßt werden können, die aber doch den Vorwurf, auf willkührliche

Vorausſetzungen gegründet zu ſeyn, wohl nicht ablehnen können und daher den Vorzug größerer Einfachheit vor der Emiſſionstheorie nicht mehr zu beſitzen ſcheinen.

Fünfundvierzigſte Vorleſung.

Die Verſuche über die Polariſirung des Lichtes, welche ich Ihnen neulich erklärte, bieten zwar viel Unerwartetes und Ueberraſchendes dar, aber ſie werden von den jetzt anzugebenden bei weitem übertroffen durch die glanzvollen Farbenerſcheinungen, welche ſich, gleichfalls durch die Polariſation hervorgebracht, darſtellen laſſen. Um an das Vorige anzuknüpfen, will ich Sie daran erinnern, daß der vom erſten Spiegel unſers Inſtrumentes (IX. Fig. 35) zurückgeworfene, vollkommen polariſirte und eben deswegen für die Reflexion aus dem zweiten Spiegel unfähig gewordene Strahl die Fähigkeit, zurückgeworfen zu werden, durch einen Doppelſpath, welchen er durchdringen mußte, wieder erhalten konnte. Hielten wir einen doppelt brechenden Cryſtall in den Weg des vom erſten zum zweiten Spiegel übergehenden Strahles, ſo daß dieſer die natürlichen Oberflächen des Cryſtalles ſenkrecht traf, und richteten wir unſer Auge auf den zweiten Spiegel in der gehörigen Richtung, ſo ſahen wir in demſelben das vom erſten Spiegel reflectirte Licht weißer Wolken hell hervortreten, wenn der Hauptſchnitt des Cryſtalles gegen die erſte Reflexionsebne geneigt war, und wieder in Dunkelheit verſchwinden, wenn jener Hauptſchnitt mit der erſten Reflexionsebne parallel oder auf ſie ſenkrecht war. Daß etwas Aehnliches auch bei andern doppelt brechenden Cryſtallen erfolgen wird, läßt ſich erwarten; aber unter gewiſſen Umſtänden iſt dieſes Wiedererſcheinen des zweimal zurückgeworfenen Strahles, dieſe Depolariſirung deſſelben, mit ſchönen Farben verbunden.

Depolariſirung einiger Farbenſtrahlen.

Wenn man blätterigen Gyps, Fraueneis, Selenit (ein Mineral, das ſich in ſehr feine, völlig durchſichtige und farbloſe Blätter zertheilen läßt) in ſehr dünnen Blättern dem aus dem erſten Spiegel zurückgeworfenen polariſirten Strahle ſenkrecht darbietet und das Auge in der gehörigen Stellung auf den zweiten Spiegel richtet, ſo bemerkt man in vier Stellungen jener Blätter ein Verſchwinden des Bildes, in allen dazwiſchen liegenden Stellungen dagegen iſt es ſchön gefärbt ſichtbar und die Farben ſind faſt bei jedem andern Blättchen andre. Dieſer blätterige Gyps iſt ein doppelt brechendes Mineral; es beſteht aus prismatiſchen Cryſtallen, deren Grundfläche ein ſchiefwinkliges Parallelogramm iſt, und die zwei Axen doppelter Brechung liegen in der Grundfläche ſelbſt, das iſt, in der Ebne der Blättchen, die wir mit ziemlich leichter Mühe ablöſen, und die gern die Form jenes ſchiefen Parallelogrammes annehmen, welche als eigentliche Cryſtallform dieſer Blättchen anzuſehen iſt. Die Mittellinie

zwiſchen beiden Axen macht nach Biot's Beſtimmung einen Winkel von $16\frac{1}{4}$ Grad mit der einen Seite des Parallelogrammes, und dieſe Mittellinie, welche wir die Hauptlinie nennen wollen, iſt es, die wir hier vorzüglich zu beachten haben. Immer bleiben unſre dünnen Cryſtalltafeln ſenkrecht auf die Richtung des polariſirten Strahles, aber wir geben ihnen, indem wir ſie drehen, ohne ſie von der ſenkrechten Stellung zu entfernen, mannigfaltig verſchiedene Lagen. Sieht man dann, ohne den zweiten Spiegel anzuwenden, durch das Gypsblättchen von O her in den erſten Spiegel, ſo nimmt man das Bild der weißen Wolken (denn von dieſen läßt man hier am liebſten Licht auffallen, weil die Farbe der Flamme ſtörend iſt) hell und ohne Färbung wahr. Bringt man aber den zweiten Spiegel wieder in diejenige Stellung, wo er die polariſirten Strahlen nicht zurückwarf, und ſucht das Bild der glänzenden Wolken auf, welches vom erſten Spiegel her im zweiten ſichtbar ſeyn ſollte, ſo erſcheint dieſes höchſt dunkel oder vielmehr faſt gar nicht, wenn jene Hauptlinie des Blättchens in der erſten Reflexionsebne liegt, dagegen tritt dieſes Bild immer heller und heller und mit einer ſich immer glänzender zeigenden Farbe hervor, wenn man jene Hauptlinie von der erſten Reflexionsebne entfernt, bis ſie bei 45° Entfernung den größten Glanz erreicht; von da an nimmt der Glanz wieder ab, und bei der Entfernung von 90° iſt wieder Dunkelheit da. Dieſelben Erſcheinungen zeigen ſich in allen Quadranten gleich, ſo daß bei 0°, 90°, 180°, 270° Dunkelheit ſtatt findet oder dem Strahle die Eigenſchaft, vom zweiten Spiegel reflectirt zu werden, nicht wieder ertheilt wird, bei 45°, 135° u. ſ. w. aber oder in der Mitte jedes Quadranten dieſe Polariſirung am vollkommenſten aufgehoben und zwar ſo aufgehoben wird, daß das weiße Licht der Wolken farbig erſcheint. Hat man ein vollkommen gleiches Blättchen des blätterigen Gypſes erhalten, ſo iſt dieſe Farbe in allen Theilen deſſelben gleich; ſobald aber eine Ungleichheit der Dicke ſtatt findet, ſo zeigen die ungleich dicken Theile ungleiche Farben, die ihre Ungleichheit bei jener Drehung beibehalten, in den Stellungen aber, wo die Polariſirung nicht geſtört wird, alle in völliges Dunkel zurückgehen. Dreht man den zweiten Spiegel, während er auf den Polariſationswinkel geſtellt bleibt, um 90 Grade fort, ſo daß er fähig wird, das in der Richtung der erſten Zurückwerfungsebne polariſirte Licht zurückzuwerfen, ſo ſieht man farbloſes Licht, wenn des Gypsblättchens Hauptlinie parallel oder ſenkrecht gegen die erſte Zurückwerfungsebne iſt, dagegen erſcheint die Ergänzungsfarbe zu der bei der vorigen Stellung beobachteten Farbe, wenn man die Hauptlinie des Blättchens geneigt gegen jene Ebne ſtellt, und dieſe Farbe iſt am glänzendſten, wenn die Neigung 45° iſt. War alſo bei der vorigen Stellung des Spiegels die Farbe des Blättchens ein ſchönes gelbliches Grün, ſo erſcheint es bei der neuen Stellung des Spiegels im ſchönſten, tiefen Violett oder Purpur, und auf gleiche Weiſe ſtehen in andern Fällen ſich die Farben ergänzend gegenüber. In den Mittelſtellungen des Spiegels findet ein Uebergang durch farbloſes Weiß von einer Farbe zur andern ſtatt.

Wenn man ſich ſtatt des zweiten an der Rückſeite geſchwärzten Spiegels eines durchſichtigen Glaſes, aber in den richtigen Polariſationswinkel und ſo geſtellt, daß die polariſirten Strahlen nicht zurückgeworfen werden, bedient, ſo ſieht man durch Spiegelung in dieſem zweiten Glaſe noch die vorigen Erſcheinungen; hält man aber das Auge in O, um die durchgehenden Strahlen zu empfangen, ſo ſieht man das Bild der weißen Wolken weiß, wenn die Zurückwerfung aufhört (bei der Stellung der Blättchen in 0°, 90°, 180°, 270°); dagegen erſcheint das Bild der Wolken farbig, wenn die Stellung des Gypsblättchens eine mittlere iſt, und zwar mit derjenigen Farbe, welche der durch Spiegelung geſehenen als Ergänzungsfarbe zugehört. Die Stellung des zweiten Spiegels in ſeine zwei Hauptſtellungen bringt beim durchgelaſſenen Lichte eben das Hervorgehen der Complementärfarben hervor, wie beim zurückgeworfenen Lichte, aber immer auf die entgegengeſetzte Weiſe. Das hier erſcheinende durchgelaſſene Licht iſt zwar immer nur wenig gefärbt, weil das geſammte reflectirte Licht doch nur einen geringen Theil des vorhandenen Lichtes ausmacht, das durchgegangene Licht alſo viel weiße Strahlen enthält; aber die Färbung iſt deutlich genug, um den ſchon neulich ausgeſprochenen Satz zu beſtätigen, daß da, wo gar kein Licht reflectirt wird, alles Licht durchgeht, ſtatt daß hier in dem Falle, wo ein Antheil grünen Lichtes reflectirt wird, ſich in dem durchgehenden ein deutlicher Ueberſchuß an violettem Lichte zeigen muß und da, wo violettes Licht zurückgeworfen wird, das durchgelaſſene Licht grünlich iſt.

Um dieſe auffallende Erſcheinung, daß das farbloſe Gypsblättchen farbig wird, genauer kennen zu lernen, wollen wir noch folgenden Verſuch anſtellen. Wenn man den zweiten Spiegel wegnimmt und an deſſen Stelle einen Doppelſpath, deſſen gegen FI gekehrte Fläche bedeckt iſt und nur durch ein einziges Löchelchen dem Lichtſtrahle Zutritt läßt, ſo befeſtigt, daß der vom erſten Spiegel kommende Strahl ſeine Oberfläche ſenkrecht trifft; ſo ſieht man, das Gypsblättchen mag ganz fehlen oder ſeine Hauptlinie mag mit der erſten Reflexionsebne parallel oder auf ſie ſenkrecht ſeyn, auch durch den Doppelſpath keine farbigen Bilder. Jenes eine Löchelchen nämlich erſcheint in den eben angeführten drei Fällen einfach, wenn der Hauptſchnitt des Cryſtalles parallel mit der erſten Zurückwerfungsebne oder auf ſie ſenkrecht iſt; es erſcheint doppelt, wie wir es beim Doppelſpath gewohnt ſind, aber ohne Färbung, wenn der Hauptſchnitt eine ſchiefe Stellung gegen jene Ebne hat. Aber dieſe Farbloſigkeit hört ſogleich auf, wenn das Gypsblättchen eine andre, von jenen beiden Stellungen verſchiedene Stellung hat, und am beſten treten die Farben der Bilder auch in dieſem Falle hervor, wenn die Hauptlinie des Blättchens um 45° gegen jene Zurückwerfungsebne geneigt iſt. Bleibt hier noch immer der Doppelſpath an der Stelle des zweiten Spiegels und empfängt er das Licht durch ein einziges in der Bedeckung ſeiner Vorderſeite gemachtes Löchelchen, ſo ſieht man nun bei jeder Stellung des Doppelſpathes ein doppeltes Bild, das aber ſeine Farben bei ungleicher Stellung des Doppelſpaths ändert. Nehmen

wir an, daß, wie in dem vorhin erwähnten Falle, das Gypsblättchen ein gelbliches Grün bei der einen Stellung des Spiegels, ein Purpur bei der andern Stellung zeigte, ſo ſieht man im Doppelſpath die beiden Bilder mit eben dieſen Farben erſcheinen, wenn der Hauptſchnitt des Doppelſpaths parallel mit der erſten Zurückwerfungsebne oder ſenkrecht gegen ſie iſt, weiß dagegen bei der genau mittleren Stellung; in den Lagen, die zwiſchen 0° und 45° liegen, und ebenſo zwiſchen 45° und 90° wird die Färbung deſto ſchwächer, je näher der Cryſtall der genauen mittleren Stellung kommt. Aber obgleich die beiden Bilder die Farben Grün und Violett immer wieder zeigen, ſobald die Stellung des Doppelſpaths von der Mittellage abweicht, ſo iſt doch nicht immer daſſelbe Bild grün und das andre violett, ſondern dasjenige, welches grün war zwiſchen 0° und 45°, wird violett zwiſchen 45° und 90°.

Ich fürchte, daß dieſe Erörterung einzelner Fälle Ihnen ermüdend ſcheinen wird, aber dennoch nöthigt mich die große Merkwürdigkeit der hier ſtattfindenden Erſcheinungen, noch etwas länger bei dieſen Gegenſätzen zu verweilen; damit ich aber die Ueberſicht erleichtere, will ich die Betrachtung der einzelnen Fälle mit den frühern Betrachtungen in Verbindung ſetzen. Sie erinnern ſich, daß der aus dem erſten Spiegel kommende, vollkommen polariſirte Strahl ganz einem im Doppelſpathe gewöhnlich gebrochenen Strahle gleicht, wenn des Doppelſpaths Hauptſchnitt der Zurückwerfungsebne parallel iſt. So lange das Cryſtallblättchen diejenige Lage hat, bei welcher die Art der Polariſirung des Strahles ungeändert bleibt, wo nämlich die Mittellinie beider Axen, die hier die Stelle des Hauptſchnittes vertritt, parallel mit der Zurückwerfungsebne oder ſenkrecht auf ſie iſt, bringt die Gegenwart dieſes Gypsblättchens keine Wirkung hervor, — das Bild des weißen Himmels erſcheint am dunkelſten im zweiten Spiegel bei der Stellung auf 90° und vollkommen hell bei 0° oder 180°; der vom Doppelſpath durchgelaſſene Strahl iſt einfach, keiner Spaltung unterworfen, wenn ſein Hauptſchnitt auf 0°, 90°, 180° gerichtet iſt, doppelt aber bei den dazwiſchen liegenden Stellungen. Dagegen wenn des Gypsblättchens Hauptlinie auf 45° gerichtet iſt, ſo iſt der Lichtſtrahl theilweiſe depolariſirt, und die Erſcheinung iſt nur darin von derjenigen verſchieden, die ein dickerer doppelt brechender Körper darbietet, daß die einzelnen Farbenſtrahlen eine ungleiche Depolariſirung erleiden. Um bei unſerm Blättchen, dem die Farben Grün und Purpur angehörten, zu bleiben, müſſen wir hier ſagen, die grünen Strahlen haben ihre Polariſirung verloren, die Purpurſtrahlen haben ſie behalten, daher werden jene nun aus dem zweiten Spiegel, der die in der Richtung der erſten Reflexionsebne polariſirten Strahlen nicht zurückgab, (bei der Querſtellung ſeiner Reflexionsebne) zurückgeworfen, die andern hingegen, die Purpurſtrahlen, werden (bei der Parallelſtellung ſeiner Reflexionsebne) da zurückgeworfen, wo die polariſirten Strahlen reflectirt wurden. Es folgt aber noch mehr hieraus, nämlich daß die eine Art von Strahlen, in unſerm Beiſpiel die grünen, eine neue Polariſirung ſenkrecht auf die vorige erhalten haben und deswegen da nicht reflectirt werden, wo

die Purpurſtrahlen zurückgeworfen werden. Das Durchſehen durch einen Doppelſpath, den man an die Stelle des zweiten Spiegels bringt, um durch ihn grade in den erſten Spiegel zu blicken, ergiebt eben das. Wenn man auf ihn das Licht durch eine kleine Oeffnung auffallen läßt, ſo wird es in zwei Strahlen zerlegt, aber dieſe erſcheinen nicht in allen Stellungen mit gleichen Farben. Die grünen Strahlen ſind jetzt nicht mehr in der Richtung der erſten Reflexionsebne, ſondern auf ſie ſenkrecht polariſirt, ſie leiden alſo, wenn der Doppelſpath ſeinen Hauptſchnitt in jener Ebne hat (auf 0°), die nun gewöhnliche Brechung, während die Purpurſtrahlen, als in jener Ebne polariſirt, den gewöhnlich gebrochenen Strahl geben; dreht man den Doppelſpath um 90°, ſo haben ſich die Farben vertauſcht, weil der in der erſten Zurückwerfungsebne polariſirte Purpurſtrahl nun der ungewöhnlich gebrochene Strahl iſt; dieſer Uebergang vom Grün zum Purpur, dem ein entgegengeſetzter Uebergang des andern Strahles entſpricht, findet dadurch ſtatt, daß beide Bilder weiß erſcheinen, wenn der Doppelſpath die Mittelſtellung hat, und ſo muß es ſeyn, weil der Doppelſpath dann ebenſo viele Lichttheile aus dem nach der einen Richtung polariſirten Purpurſtrahle, als aus dem nach der darauf ſenkrechten Richtung polariſirten grünen Strahle in dem gewöhnlich gebrochenen und ebenſo auch in dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle vereinigt. Und hier läßt ſich nun auch entſcheiden, welches der ungewöhnlich gebrochene Strahl iſt. Wenn die Richtung des aus dem erſten Spiegel kommenden Strahles AB (IX. Fig. 38) ziemlich nahe horizontal iſt, das Gypsblättchen auf 45° ſteht, der Doppelſpath mit ſeinem Hauptſchnitte der erſten Reflexionsebne parallel ſteht und dieſe vertical iſt, ſo wiſſen Sie, daß BO der gewöhnliche, BE der ungewöhnliche Strahl iſt, daß alſo der gewöhnliche der untere iſt, wenn die Axe GH des Cryſtalles von oben nach unten gegen den Beobachter P zu geht, und dieſer gewöhnlich gebrochene Strahl muß alſo in unſerm Falle Purpur darſtellen, wenn es gegründet iſt, daß der in der erſten Reflexionsebne polariſirt bleibende Strahl mit dem gewöhnlich gebrochenen Strahle des ſo geſtellten Doppelſpathcryſtalls übereinſtimmt. Die Erfahrung ſtimmt hiemit völlig überein, und es verſteht ſich daher, daß das untere Bild das grüne iſt, wenn der Cryſtall die Lage (IX. Fig. 39) erhält, wo alle Buchſtaben eben die Bedeutung behalten.

Beſtimmung der Farbe nach der Dicke des Gypsblättchens.

Ich verweile jetzt nicht bei den Erſcheinungen, die ein in andre Stellungen gegen die erſte Reflexionsebne gebrachtes Gypsblättchen hervorbringt, indem die Mannigfaltigkeit der Erſcheinungen zu groß iſt, um hier umſtändlich erklärt zu werden; dagegen muß ich nothwendig bei dem Geſetze verweilen, nach welchem ſich die Entſtehung der Verſchiedenheit der Farben richtet. Hiebei bietet ſich die auffallendſte Uebereinſtimmung derjenigen Farben, die wir hier beobachten, mit denen, die Sie in den Newton'ſchen Farbenringen kennen gelernt haben, dar. Biot hat die Dicke vieler Blättchen ſorgfältig abgemeſſen und gefunden, daß die Farben, welche der Polariſation entzogen werden, genau

in eben dem Zuſammenhange mit dem Verhältniß der Dicken der Blättchen ſtehen, wie die Farben der durch Zurückwerfung entſtehenden Newton'ſchen Ringe mit den Dicken der Luftſchichten. Nach Biot's Verſuchen war es zum Beiſpiel ein Blättchen von 82 Tauſendteln eines Millimeters (ungefähr 3 Tauſendtel par. Zoll), welches das Blau des erſten ſchönen Farbenringes gab, und es fand ſich nun in allen Fällen beſtätigt, daß ein doppelt ſo dickes Blättchen eben die Farbe (Orange des zweiten ſchönen Farbenringes) gab, die man bei Newton's Farbenringen da erhält, wo die Luftſchicht doppelt ſo dick iſt, als bei jenem Blau, oder allgemein, daß man das Verhältniß der Dicke eines zweiten Blättchens zu jenem erſten nur zu kennen brauchte, um die der Polariſirung entzogene Farbe zu beſtimmen, welche immer diejenige war, die dem Verhältniſſe der Dicken der Luftſchichten bei Newton's Verſuchen entſpricht. Nach Newton iſt 14 die Dicke der Luftſchicht für jenes Blau, und dieſe Zahl nimmt alſo eben die Stelle ein, wie 82 Tauſendtel Millimeter bei Biot's Verſuchen; 21 iſt die Zahl, die bei Newton dem Purpur des nächſten Ringes entſpricht, alſo 123 als Dicke der Blättchen gäbe eben dieſes Purpur in den Biot'ſchen Verſuchen; 28 iſt bei Newton dem Orange deſſelben nächſten Ringes entſprechend, alſo muß 164 eben die Farbe bei Biot geben; 35 dort und 205 hier müſſen das Grün der folgenden Ordnung geben, und ſo weiter. Dieſes findet, nach Biot's Meſſungen, ſo ſtatt, daß ſowohl ein einzelnes Blättchen von dieſen Dicken, als mehrere, die zuſammen dieſe Dicke haben und mit parallelen Axen auf einander gelegt werden, die hiernach berechneten Farben zeigen, weshalb denn Gypsſtückchen von ſehr bedeutender Dicke keine Farben mehr zeigen, ſondern weißes Licht.

Biot's Theorie der beweglichen Polariſation.

Dieſe Farben ſtehen alſo mit den Anwandelungen in einer ſehr nahen Beziehung, und dieſe Betrachtung hat Biot zu ſeiner Theorie der beweglichen Polariſation geführt. Es ſcheint nämlich ſich als unmittelbares Ergebniß der Erſcheinungen auszuſprechen, daß zwar in einem dickeren Cryſtalle bei gehöriger Lage deſſelben alle Farbenſtrahlen ihre Polariſation verlieren, daß dieß aber beim Durchgange durch ſehr dünne Schichten in Beziehung auf jeden Farbenſtrahl bald geſchehen, bald wieder nicht geſchehen iſt, alſo ein Wechſel der Polariſation, ähnlich dem Wechſel der Anwandelungen, ſtatt findet. Um bei einem Farbenſtrahle ſtehen zu bleiben, würde man von dem von Biot angeführten blauen Farbenſtrahle ſagen müſſen, daß er bei einer Dicke von 27 Tauſendteln des Millimeters zum erſten Male, bei einer Dicke von 3mal 27, von 5mal 27 zum zweiten Male, zum dritten Male der Polariſation entzogen werde und für andre Strahlen nach dem Verhältniſſe der ungleichen Länge ihrer Anwandelungen eben dieſes ſtatt finde, dagegen aber in Blättchen von 54 oder 108 Tauſendteln jener Farbenſtrahl am wenigſten der Depolariſirung unterworfen ſey.

Dieſe Wechſel erklärt Biot durch folgende Anſicht. Indem die Lichttheilchen eines gleichartigen Farbenſtrahles den doppelt brechenden Körper

erreichen, erlangen ſie, wenn ſie polariſirt waren, eine oſcillirende Bewegung ihrer Axen, vermöge welcher dieſe vorher in einer beſtimmten Ebne liegenden Axen nun in die Ebne des Hauptſchnittes des Blättchens geführt, aber ferner ebenſo weit über dieſe hinausgeführt werden, dann zu der Ebne jenes Hauptſchnitts (der Mittellinie zwiſchen den beiden Axen des Blättchens) zurück und über ihn hinaus bis zu der erſten Stellung gehen, und ſo Oſcillationen um die Richtung des Hauptſchnittes in immer gleicher Ausdehnung vollenden. Während ein ſolcher Uebergang von der anfänglichen Lage der Axe eines Lichttheilchens bis zum Aeußerſten jenſeits des Hauptſchnittes erfolgt, iſt das Lichttheilchen bis auf eine gewiſſe Tiefe eingedrungen, bei der Rückkehr zur anfänglichen Polariſationsebne hat ſich dieſe Tiefe verdoppelt, beim neuen Eintreffen in die ſchon einmal erreichte äußerſte Lage iſt die dreifache Tiefe erreicht, und ſo weiter; das Lichttheilchen befindet ſich alſo nach dem Eindringen zu der einfachen, dreifachen, fünffachen Tiefe in demſelben äußerſten Zuſtande der neuen Polariſation, und nach dem zweifachen, vierfachen, ſechsfachen Eindringen wieder in dem Zuſtande der urſprünglichen Polariſation. Wenn alſo bei einfarbigem grünen Lichte, das ſo polariſirt war, daß es aus dem zweiten Spiegel nicht zurückgeworfen wurde, die Dicke des Blättchens grade einer ſolchen Periode entſpricht, ſo geht das Lichttheilchen in einer neuen Richtung polariſirt hervor, und die Ebne dieſer Polariſation iſt doppelt ſo weit von der urſprünglichen Polariſationsebne entfernt, als die Hauptlinie des Blättchens von derſelben entfernt iſt. Bei der von uns vorhin angenommenen Lage der Hauptlinie in 45° Neigung iſt alſo das Aeußerſte der Oſcillation = 90°, und das hervorgehende grüne Lichttheilchen wird nun grade bei der Stellung des zweiten Spiegels vollkommen gut reflectirt, bei welcher es vorhin gar nicht reflectirt wurde; umgekehrt, wenn man den zweiten Spiegel in die Stellung bringt, wo vorhin die Zurückwerfung des polariſirten Lichtes ſtatt fand, ſo ſieht man nur Dunkel, weil jenes einfarbige Licht gänzlich in die neue Polariſirung übergegangen iſt. Hätte das Blättchen die dreifache oder fünffache Dicke, ſo ginge es genau ebenſo; bei der zweifachen oder vierfachen Dicke dagegen fände die frühere Polariſirung ſtatt, und der genau gleichartige Strahl würde keine Veränderung zeigen.

Iſt das Licht von einer andern Farbe, ſo iſt, nach dem von den Anwandelungen her bekannten Verhältniſſe, die Tiefe, bis zu welcher die Theilchen eindringen müſſen, eine andre; rothes Licht zum Beiſpiel hätte nicht im vollen Maaße die einer vollendeten Oſcillation aller Theilchen entſprechende neue Polariſation angenommen, wenn das Blättchen den grünen Strahlen entſprechend gewählt war, und die Erſcheinung des Roth würde daher minder lebhaft ſtatt finden; und ſo würde für jede andre Farbe eine andre Dicke der Blättchen erfordert werden, um die Erſcheinungen den vollendeten Perioden entſprechend zu zeigen.

Läßt man das Licht weißer Wolken ſich im erſten Spiegel polariſiren, ſo ſind es Lichttheilchen aller Farben, die das Gypsblättchen erreichen. Hat

nun das Blättchen die Dicke, welche einem ganzen Ausweichen oder einer vollendeten Oſcillation des Grün entſpricht, ſo werden die Theilchen grünen Lichtes genau und die dem Grün benachbarten Theile nahe genug in die neue Polariſationsebne gebracht ſeyn; die rothen Strahlen dagegen und alle weit vom Grün liegenden Farbentheilchen ſind noch zu nahe bei der anfänglichen Polariſationsebne, und zeigen ſich nach dem Durchgange ſo polariſirt, wie ſie es vorher waren. Hat alſo das Blättchen dieſe Dicke, ſo zeigt ſich der in der neuen Richtung polariſirte Strahl grün, der in der früheren Richtung polariſirte aber enthält die übrigen, alſo Purpur darſtellenden Theilchen.

Es iſt wahr, daß die Erſcheinungen ſich dieſem gemäß verhalten; denn wenn der zweite Spiegel in der Richtung bleibt, daß er die in der früheren Richtung polariſirten Strahlen nicht zurückwirft, ſo ſieht man immer dieſelbe Farbe ſchwächer oder lebhafter erſcheinen, wenn man die Hauptlinie des Blättchens in eine ſchiefe Richtung gegen die erſte Polariſationsebne bringt. Weicht dieſe Richtung noch wenig ab, ſo iſt die Farbe noch wenig lichtvoll, weil der Spiegel die in einer wenig vortheilhaften Richtung polariſirten Strahlen ſchlecht zurückwirft; iſt die Abweichung 45°, ſo iſt die Zurückwerfung vollkommen; bei einer noch weiter fortrückenden Stellung des Blättchens geht die Lage der neuen Polariſationsebne über 90° hinaus und wird alſo minder vortheilhaft; aber das mehrere oder wenigere Licht iſt immer von gleicher Farbe. Bei derjenigen Stellung des zweiten Spiegels, wo er das in der anfänglichen Richtung polariſirte Licht zurückwirft, findet das Entſprechende ſtatt. Hier wird die Ergänzungsfarbe von jener immer zurückgeworfen; aber bei einer geringen Neigung der Hauptlinie des Blättchens gegen dieſe Ebne wird auch viel von der in der neuen Richtung polariſirten Farbe zurückgeworfen, wodurch dann ein nur wenig in jene Ergänzungsfarbe hinübergehendes Weiß hervorgeht; erſt bei einer Richtung der Hauptlinie, die nahe gegen 45° iſt, fehlt jene Farbe ganz und die Ergänzungsfarbe tritt rein hervor.

Stellt man den zweiten Spiegel nicht in jene zwei Hauptſtellungen, ſondern läßt man ihn in der Drehung im Ringe E (IX. Fig. 35) um ebenſo viele Grade als jene Hauptlinien von der erſten Reflexionsebne abweichen, ſo zeigt er Weiß, weil er zwar beide Farben, als nicht ganz angemeſſen für ſeine Zurückwerfung polariſirt, unvollſtändig zurückwirft, aber doch beide, als gleich ſtark von ſeiner Reflexionsebne abweichend, gleich gut, die Farben alſo zu Weiß gemiſcht, zurückgiebt.

Daß bei dickeren Blättchen eine Miſchung der Farben wegen des Zuſammentreffens der vierten Periode des violetten Strahles mit der dritten Periode des gelben Strahles und wegen ähnlicher Verbindungen eintritt, läßt ſich nun wohl überſehen.

Farben zweier Blättchen, deren Hauptlinien auf einander ſenkrecht ſind.

Aber abbrechen kann ich dieſe Darſtellung der an den Gypsblättchen wahrzunehmenden Erſcheinungen immer noch nicht ganz, indem zwei auf einander

gelegte Blättchen recht merkwürdige Erſcheinungen darbieten. Liegen die Hauptlinien beider Blättchen genau auf einander, ſo bietet ſich nichts Merkwürdiges dar, indem die zwei Blättchen dann wie ein dickeres wirken. Aber läßt man die Axen ſich ſenkrecht durchſchneiden, ſo verhält es ſich anders. Ich will annehmen, der zweite Spiegel ſtehe in der Stellung, wo er die vom erſten Spiegel polariſirten Strahlen nicht zurückwirft; dann wirft er ſie auch nicht zurück, wenn die Hauptlinie des einen Blättchens parallel mit der erſten Reflexions= oder Polariſationsebne, die Hauptlinie des andern Blättchens aber darauf ſenkrecht iſt. Dagegen bei einer andern Stellung, am beſten, wenn beide Hauptlinien um 45 Grad von jener Ebne abweichen, zeigen die gekreuzten Blättchen Farben, die ein dünneres einzelnes Blättchen geben würde, nämlich genau die Farben, die ein einzelnes Blättchen geben würde, wenn ſeine Dicke gleich dem Unterſchiede der Dicke jener wäre. Um nicht hiebei abermals ſo lange zu verweilen, mag es genug ſeyn, zur Erklärung dieſer Erſcheinung zu bemerken, daß dieſe Kreuzung der Axen eine entgegengeſetzte Wirkung hervorbringt, ſo daß das dünnere Blättchen einen Theil der Wirkung des dickeren zerſtört und nur diejenige Wirkung übrig läßt, die dem Unterſchiede der Dicken entſpricht.

Erklärung dieſer Farbenerſcheinungen nach der Undulationstheorie.

Dieſe Beſtimmungen ſind ſämmtlich den Erfahrungen, die Biot angeſtellt hat, genau angemeſſen, und obgleich Fresnel bei anders eingerichteten Verſuchen Folgerungen gefunden hatte, die dieſen Oſcillationen nicht entſprechend ſchienen, ſo hat doch Biot ſeine Anſichten dadurch nicht als widerlegt angeſehen. Als ein paſſender Ausdruck für die wichtigſten Erſcheinungen kann dieſe bewegliche Polariſation alſo wohl gelten; aber über die Hypotheſe einer wirklich ſo angeordneten Bewegung der Axe der Lichttheilchen bieten ſich freilich manche Zweifel dar, die ich hier umſtändlich zu erörtern Bedenken trage. Arago und Fresnel haben jene Farbenerſcheinungen ſehr genügend aus der Theorie der Interferenzen erklärt. Nach Fresnel's Anſicht muß man bei dem Durchgange des polariſirten Strahles durch das Gypsblättchen auf die auch hier ſtattfindende doppelte Brechung ſehen. Iſt die Hauptlinie des Blättchens **BD** unter einem ſchiefen Winkel gegen die anfängliche Polariſationsebne **AB (IX. Fig. 40)** geneigt, ſo gehen zwei getrennte Strahlen durch das Blättchen, die wir bei ſo dünnen Blättchen, wo ſie ſich höchſt unbedeutend von einander entfernen, nicht als getrennt wahrnehmen können, die aber doch die Eigenſchaft eines gewöhnlich gebrochenen, nach **BD** polariſirten, und eines ungewöhnlich gebrochenen, in der auf **BD** ſenkrechten Ebne **BE** polariſirten Strahles haben. Dieſe beiden Strahlen haben im Innern des Blättchens ungleiche Geſchwindigkeiten und die Wellen des einen treffen daher nicht mehr mit den Wellen des andern zuſammen; aber ſo lange ſie ſo ungleich polariſirt bleiben, geben ſie, als nach ſenkrechten Richtungen polariſirt, keine Interferenzen, und das unmittelbar durch das Blättchen ſehende Auge ſieht nichts

Ungewöhnliches. Treffen aber die aus dem Blättchen hervorgehenden Strahlen auf einen Doppelſpath, deſſen Hauptſchnitt in der Ebne BF (überhaupt geneigt gegen AB, BD) liegt, ſo gehen aus beiden Strahlen zwei Strahlen, in den Richtungen der Ebnen BF und GH (ſenkrecht auf BF) polariſirt, hervor. Das durch den Doppelſpath ſehende Auge erhält alſo einen aus zwei Strahlen zuſammen hervorgegangenen, nach BF polariſirten Strahl und eine Verbindung zweier nach BG und nach BH polariſirter Strahlen; hier ſind die zwei erſten zuſammentreffenden Strahlen der Interferenz fähig, weil ſie nach gleicher Richtung polariſirt ſind und aus einem und demſelben urſprünglichen polariſirten Strahle herſtammen; die zwei letzten ſind es auch, da ihre Polariſirungsebne eine und dieſelbe iſt, wenn gleich die Polariſirung nach BD ſich nach den Richtungen BF, BH, und die nach BE ſich nach BF, BG zerlegt hat. Obgleich nun in dieſem Falle die Wege der beiden verbundenen Strahlen im erſten Strahle gleich ſind, ſo iſt doch, wegen der ungleichen Geſchwindigkeiten im Durchdringen des Blättchens, die Wellenfolge im einen hinter der im andern zurückgeblieben, und eben das iſt im zweiten Strahle in Beziehung auf die zwei in ihm vereinigten Strahlen der Fall, jedoch mit dem Unterſchiede, daß bei dem letztern, wo die Polariſirung auf zwei einander entgegengeſetzte Richtungen zurückgeführt iſt, die Interferenz ſo ſtatt findet, daß man eine halbe Wellenlänge als verloren gegangen anſehen muß. Hat zum Beiſpiel das Gypsblättchen die Dicke, daß grade die Wellen grünen Lichtes um eine ganze Wellenlänge aus einander ſind, ſo gehen dieſe im erſten Strahle vollkommen verſtärkt, die benachbarten blauen und gelben (als der Phaſe vollkommener Gleichheit nahe) etwas ſich verſtärkend hervor, und der erſte Strahl zeigt ſich uns grün; der zweite dagegen zeigt — vermöge der noch nicht erklärten, aber der Beobachtung entſprechenden Eigenthümlichkeit, eine halbe Wellenlänge zu verlieren — eine Verſtärkung der Farben, deren Wellen um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt ſind, das iſt, derjenigen, die im erſten Strahle wegen ihrer ſich zerſtörenden Interferenz nicht ſichtbar wurden. Daß ſo im letztern Strahle die Ergänzungsfarben des erſten erſcheinen müſſen, iſt offenbar.

Wenn zwei Blättchen mit gekreuzten Axen die Erſcheinung hervorbringen, ſo wirken ſie einem dünnern Blättchen gleich; denn der im erſten Blättchen gewöhnlich gebrochene Strahl iſt im zweiten der ungewöhnlich gebrochene, das im erſten Blättchen eingetretene Voreilen der einen Wellenfolge vor der andern wird daher im zweiten, wenn dieſes das dünnere iſt, zum Theil wieder ausgeglichen, und zwar genau ſo, wie es dem Unterſchiede der Dicken gemäß iſt. Die Farbenmiſchung wird bei dickern Blättchen eintreten, wenn die Voreilung der einen Wellenfolge vier Wellenlängen der kürzern und drei Wellenlängen der längern Wellen beträgt und ſo weiter.

Dieſe Erklärung, die ſich leicht auf den Fall, wo ein zweiter Spiegel da iſt, anwenden läßt, bringt allerdings auf eine ſehr genügende Weiſe die Erſcheinungen unter eine den Geſetzen der Undulation gemäße Anſicht, und obgleich die Entſtehung der Polariſation noch genauer erklärt werden muß, obgleich

ferner die Eigenthümlichkeit, daß nur ein ſchon urſprünglich polariſirter Strahl zu dieſen Interferenzen Veranlaſſung geben kann und daß in dem einen jener Strahlen die Differenz der Wege eine halbe Wellenlänge, in dem andern eine ganze Wellenlänge betragen muß, wenn eine das Licht zerſtörende Interferenz ſtatt finden ſoll, noch manches Unerklärte enthält, ſo läßt ſich doch die Verbindung mit den Perioden der Anwandelungen und alles, was die Hauptumſtände der Erſcheinung betrifft, hier ſo vollkommen überſehen, daß man das Eintreten der Interferenzen wohl als den wahren Grund dieſer Erſcheinungen anſehen muß.

Sechsundvierzigſte Vorleſung.

Farbenringe im polariſirten Lichte.

Unter den mannigfaltigen Erſcheinungen, welche die Polariſirung des Lichtes darbietet, verdient noch eine Claſſe von Erſcheinungen hervorgehoben zu werden, nämlich die Farbenringe, die ſich unter gewiſſen Umſtänden im polariſirten Lichte zeigen. Folgendes von Biot zuerſt angegebene Experiment ſcheint mir am paſſendſten, um ihre Entſtehung zu zeigen. Man nimmt ein Stück Doppelſpath, das aber zu dieſem Zwecke zwei parallele, auf die Axe der doppelten Brechung genau ſenkrechte Oberflächen haben muß, und befeſtigt dieſe Doppelſpathplatte ſo zwiſchen den beiden Spiegeln unſers Inſtruments, daß der vom erſten Spiegel kommende polariſirte Strahl ſie ſenkrecht treffe. Zur Anſtellung des Verſuches iſt dann weiter nichts nöthig, als daß man im dunkeln Zimmer einen lebhaften, von weißen Wolken ausgehenden Lichtſtrahl unter dem Polariſationswinkel auf den erſten Spiegel fallen laſſe, daß man den zweiten Spiegel in die Stellung bringe, wo er dieſen polariſirten Strahl nicht reflectirt, und daß man durch eine ſehr enge Oeffnung, vor welcher das Auge ſeine Stellung nimmt, in dieſen zweiten Spiegel ſehe. Dann ſieht man im zweiten Spiegel Farbenkreiſe, die von einem ſchwarzen Kreuze durchſchnitten ſind. Dieſe Erſcheinung erklärt ſich leicht aus den Ihnen ſchon bekannten Geſetzen der Polariſirung. Da das Auge durch eine ſehr kleine Oeffnung ſieht, ſo bilden die zum Auge gelangenden Lichtſtrahlen einen Kegel, in deſſen Mitte die genau ſenkrecht auf den Doppelſpath fallenden Strahlen liegen, während die von den Seiten kommenden eine kleine Neigung gegen dieſe Senkrechte oder gegen die Axe des Doppelſpaths haben. Sie wiſſen, daß der zweite Spiegel die in ihrem polariſirten Zuſtande bleibenden Strahlen nicht zurückwirft, alſo da Dunkel zeigt, wo ſie erſcheinen ſollten, und dieſes iſt erſtlich für die genau ſenkrechten, das heißt, genau der Axe des Doppelſpaths folgenden Strahlen der Fall, aber auch zweitens für diejenigen, die in der Ebne der erſten Reflexionsebne liegen, und drittens für die, welche in einer gegen dieſe Ebne ſenkrechten Ebne liegen. Die erſtern nämlich erleiden gar keine

Veränderung, die zweiten erleiden zwar eine ſchwache Brechung, aber ſo, daß (um den kürzeſten Ausdruck zu gebrauchen) die Axen der Lichttheilchen ihre Stellung nicht ändern, ſondern der erſten Reflexionsebne parallel bleiben; eben das iſt der Fall bei den ein wenig ſchief geneigten Strahlen, die eine auf dem Doppelſpathe ſenkrecht gegen die erſte Reflexionsebne gezogene Linie treffen; daher erſcheint ein ſchwarzes Kreuz, deſſen Lage durch die auf dem Doppelſpathe in der Reflexionsebne und ſenkrecht gegen ſie gezogene Linie beſtimmt wird. Alle von dieſen beiden Ebnen abweichenden Strahlen verändern die Richtung ihrer Polariſation, und da hier ähnliche Umſtände wie bei den dünnen Gypsblättchen eintreten, ſo werden nur gewiſſe Farbenſtrahlen depolariſirt. Man mag nämlich hier entweder nach Biot's Anſicht den polariſirenden Kräften, die bei ſo geringer Neigung des Strahles gegen die Axe des Doppelſpaths ſehr ſchwach wirken, nur die Wirkung, eine bewegliche Polariſation oder eine Oſcillation der Lichttheilchen hervorzubringen, zuſchreiben, oder nach Arago's und Fresnel's Anſicht die ungleichen Wellenfolgen des in der Doppelſpathplatte gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochenen Strahles berückſichtigen, ſo läßt ſich nachweiſen, daß in einer gewiſſen Entfernung von der Mitte beſtimmte Farben und zwar genau in der Ordnung, wie bei Newton's Farbenringen, hervortreten müſſen; ja man kann ſich leicht überzeugen, daß ſelbſt die Größe der Ringe, die von der Dicke jener Platte abhängt, ſich nach beiden Anſichten berechnen läßt. Bei Biot beſtimmt man die Wiederkehr eben der Farbe im zweiten, dritten Ringe nach der für die Perioden der Oſcillationen angenommenen Größe der Zwiſchenräume; bei Fresnel berechnet man ſie nach dem Voreilen der Wellenfolge des einen Strahles vor der des andern um eine oder zwei oder drei Wellenlängen und ſo weiter, und dieſes Voreilen beträgt bei ſo geringer Neigung der Strahlen wenig, da in dieſem Falle beide Strahlen, der gewöhnlich gebrochene und der ungewöhnlich gebrochene, beinahe gleiche Geſchwindigkeit haben. Bei größerer Verſchiedenheit der Geſchwindigkeiten, das iſt bei einer viele Wellenlängen betragenden Differenz, kommen hier ſo wenig, wie bei Newton's Farbenringen, Farbenerſcheinungen vor.

Eben dieſe Farbenringe kann man auch mit Hülfe zweier Turmalinplatten darſtellen. Da die erſte derſelben, wenn ſie dick genug iſt, das Licht in einer auf die Richtung der Axe ſenkrechten Richtung polariſirt, ſo läßt die zweite, wie Sie ſchon wiſſen, dieſes polariſirte Licht nicht durch, wenn ihre Axen ſenkrecht gegen die Richtung der erſten ſind; aber die Durchlaſſung des Lichtes tritt wieder ein, wenn ein zwiſchen beide Platten gebrachter doppelt brechender Körper die Lichtſtrahlen ganz oder zum Theil depolariſirt. Eine ſolche theilweiſe Depolariſirung aber iſt es, die ſich uns in jenen Ringen kenntlich macht, und daher erſcheinen auch hier beim Durchſehen durch die Turmalinplatten, zwiſchen denen ein gehörig geſchnittener doppelt brechender Cryſtall iſt, ähnliche Ringe. Da dieſe Ringe immer dann entſtehen, wenn man Strahlen, die nicht zu ſehr gegen die Axen der doppelten Brechung geneigt ſind, beobachtet, ſo kann man bei den Körpern, deren beide Axen nur einen kleinen Winkel mit

einander machen, zum Beiſpiel beim Salpeter, die Ringe um beide Axen zugleich wahrnehmen, wenn man die Platte ſo ſchneidet, daß beide Axen nicht viel von der ſenkrechten Richtung gegen die Oberfläche abweichen. Dann ſtellen ſich zunächſt um die beiden Mittelpunkte farbige Linien, die beinahe für Kreiſe gelten können, dar; dieſe werden aber von Linien umfaßt, die beide Kreisſyſteme zugleich einſchließen und ſich, je weiter man vom Mittelpunkte ſich entfernt, deſto mehr einer ungefähr elliptiſchen Form nähern. Auch bei ihnen giebt es dann dunkle Linien, die das darſtellen, was vorhin das ſchwarze Kreuz war; da ich aber ohne allzugroße Weitläuftigkeit die Regeln für die Bildung dieſer Linien nicht angeben kann, ſo begnüge ich mich, ſie obenhin zu erwähnen.

Eine andre Methode, die farbigen Ringe leicht und gut zu ſehen, iſt folgende. Man läßt auf eine horizontale Glasfläche (oder mehrere auf einander liegende unbelegte Gläſer mit parallelen Oberflächen) das Licht auffallen und ſtellt ſich ſo, daß die unter dem Polariſationswinkel zurückgeworfenen Strahlen in das Auge gelangen. Dann ſtellt man eine mit der Axe des Cryſtalles parallel geſchnittene Turmalinplatte vor dem Auge ſo auf, daß der Lichtſtrahl ſie ſenkrecht trifft, und dreht ſie in ihrer Ebene ſo lange, bis das reflectirte Licht am meiſten verdunkelt erſcheint, wobei die Axe des Turmalins in der Polariſationsebne des reflectirten Strahls liegt. Hält man nun eine ſenkrecht gegen die Axe geſchnittene Doppelſpathplatte zwiſchen den Turmalin und jene als Spiegel dienende Glasfläche, und ſieht nach der letztern durch den Turmalin und Doppelſpath, ſo ſieht man die glänzenden, von einem ſchwarzen Kreuze durchſchnittenen Farbenringe. Stellt man die Turmalinplatte ſo, daß ihre Axe ſenkrecht gegen die Reflexionsebene gerichtet iſt, ſo ſieht man ſtatt der frühern Farben die Ergänzungsfarben derſelben und ſtatt eines ſchwarzen ein weißes Kreuz. Dreht man die Turmalinplatte nach und nach und entfernt ſo die Axe derſelben von der Ebene der urſprünglichen Polariſation, ſo beſteht jeder Kreis aus acht Seiten, von denen vier die zuerſt beobachteten Farben, nur etwas bläſſer, die vier anderen aber die Ergänzungsfarben zeigen. Bei 45 Grad Drehung ſind dieſe acht Theile gleich. Statt der Turmalinplatte kann man ſich auch eines Doppelſpathprisma's bedienen, was den Vortheil gewährt, daß man zwei Bilder mit den entgegengeſetzten Farbenſyſtemen zugleich ſieht; dann zeigt das ungewöhnliche Bild Farbenringe mit dem ſchwarzen, das gewöhnliche Bild aber die Ergänzungsfarbenringe mit dem weißen Kreuze. In ſeiner natürlichen Cryſtallform, als Rhomboëder, zeigt der Doppelſpath beide Bilder nicht weit genug getrennt; man vergrößert aber die Divergenz beider Bilder dadurch, daß man dem Doppelſpath eine veränderte prismatiſche Geſtalt ertheilt. Am geeigneteſten ſcheint zu dieſem Zwecke das von ſeinem Erfinder ſogenannte Nicol'ſche Prisma zu ſeyn. Man erhält es, wenn man zwei Flächen eines kleinen Kalkſpathrhomboëders ſo ſchleift, daß ſie mit den ſie verbindenden Kanten nicht mehr unter 70° 51′, ſondern unter 68 Grad geneigt ſind, dann das Prisma durch einen Schnitt, der gegen den Hauptſchnitt und die gedrehten Flächen ſenkrecht iſt, in zwei Theile theilt und hierauf die Schnittflächen,

nachdem ſie polirt worden ſind, durch canadiſchen Balſam vereinigt. Sieht man durch dieſes Prisma der Länge nach, parallel den Kanten, die ihre Lage behalten haben, nach einem Gegenſtande, ſo erblickt man nur das gewöhnliche Bild deſſelben; erſt dann, wenn man die Längenaxe ſehr ſtark gegen die Geſichtslinie neigt, wird das ungewöhnliche Bild ſichtbar.

Kreisförmige Polariſation.

Ganz anders als der Doppelſpath und der Turmalin verhalten ſich der Bergcryſtall und andre Quarzcryſtalle. Platten derſelben, welche ſenkrecht gegen die Axe durchſchnitten ſind, zeigen, wenn der polariſirte Lichtſtrahl nach der Richtung der Axe durch dieſelben geht, durch den Turmalin oder einen mit ſeinem Hauptſchnitte der urſprünglichen Polariſationsebene parallel geſtellten Doppelſpath betrachtet, zwar auch Farbenringe, die aber weder von einem ſchwarzen Kreuze durchſchnitten, noch in der Mitte ſchwarz ſind, ſondern eine nach der Dicke des angewandten Cryſtallblättchens verſchiedene Farbe in der Mitte zeigen, und es bedarf einer mehr oder weniger bedeutenden Drehung des Zwiſchenkörpers, durch welchen man beobachtet, um in der Mitte die dunkelſte Färbung zu erhalten. Offenbar läßt ſich dieß auch ſo ausdrücken: die Polariſationsebene iſt durch den Cryſtall gedreht worden, und zwar entweder nach der linken oder nach der rechten Seite. Zu bemerken iſt jedoch, daß man ein ſo gut als vollkommenes Schwarz im Mittelpunkte nur bei einfarbigem Lichte erhalten kann. Die erforderliche Drehung iſt bei gleicher Farbe des Lichtes der Dicke der Cryſtallplatten proportional, bei gleicher Dicke aber viel größer für die nach dem Violett, als für die nach dem Roth hin liegenden Farben des prismatiſchen Farbenbildes, alſo erleiden die mehr brechbaren Farben eine ſtärkere Drehung ihrer Polariſationsebene als die weniger brechbaren. So ergab ſich bei einem Millimeter Dicke eine Drehung von $17\frac{1}{2}^0$ für das rothe, von $25\frac{2}{3}^0$ für das hellgrüne und von 44^0 für das violette Licht.

Die Richtung und Größe der Drehung iſt aber auch von der Natur der angewendeten Körper abhängig und Bergcryſtall zeigt in dieſer Hinſicht ſolche Verſchiedenheiten, daß manche Stücke die Polariſationsebene rechts, andre aber links drehen. Auch flüſſige Körper, in eine an beiden Enden mit Plangläſern verſehene Röhre eingeſchloſſen, bringen nach Biot's Entdeckung ähnliche Aenderungen der Polariſation hervor, z. B. Terpentinöl, Citronenöl, Zuckerauflöſung u. ſ. w., ja ſelbſt dampfförmige Körper thun daſſelbe. Im Allgemeinen iſt bei Flüſſigkeiten im Vergleich zu Cryſtallen die Drehung nur klein, weshalb es nöthig iſt, ſie in einer Schicht von größerer Dicke anzuwenden. Im Terpentinöl z. B. beträgt die Drehung bei rothem Lichte nur etwa $\frac{1}{4}$ Grad für jedes Millimeter, oder genauer 65 mal weniger als beim Bergcryſtalle. Verbindet man zwei Körper mit einander, welche eine entgegengeſetzte Drehung bewirken, ſo heben ſich ihre Wirkungen theilweiſe oder (bei gehörig abgemeſſenem Verhältniſſe der Quantitäten) ganz auf; dieß tritt z. B. ein, wenn man Terpentinöl mit Campherſpiritus oder mit Citronenöl verbindet.

Hieraus erhellt ſchon im Allgemeinen die Möglichkeit, die Polariſation des Lichtes zur Erkennung gewiſſer auf anderem Wege ſchwer erkennbarer Beſtandtheile zuſammengeſetzter Körper anzuwenden, und Biot ſelbſt hat gezeigt, wie man auf dieſem Wege z. B. den Gehalt von Zuckerlöſungen beurtheilen kann. Er hat nämlich gefunden, daß Rohrzucker unter allen Umſtänden die Polariſationsebene nach rechts dreht; daſſelbe thun Runkelrüben-, Paſtinaken-, Mohrrüben- und Althäaſaft. Abweichend von dieſen Pflanzenſäften hat Traubenzucker, ſo lange er noch nicht feſt geworden iſt, die Eigenſchaft, die Polariſationsebene nach links zu drehen, während er, wenn er einmal feſt geworden iſt, auch bei nachheriger Auflöſung die entgegengeſetzte Drehung bewirkt. Zeigt daher ein Pflanzenſaft eine Drehung nach links, ſo deutet dieß auf die Möglichkeit eines Gehalts an Traubenzucker, während die entgegengeſetzte Drehung die Möglichkeit eines Gehalts an Rohrzucker andeutet. In beiden Fällen kann freilich die gedachte Drehung auch von andern Subſtanzen bewirkt werden, wie z. B. Dextrin eine Drehung nach rechts, Gummi eine nach links bewirkt, und jene Möglichkeit iſt daher von der Gewißheit noch weit entfernt, aber immerhin iſt dieſe Prüfungsmethode in praktiſcher Hinſicht von großer Wichtigkeit für die Beſitzer von Raffinerieen und Zuckerfabriken, denen viel daran gelegen ſeyn muß, den Gehalt des Rohrzuckers an cryſtalliſirbarem Zucker vorauszubeſtimmen, da die ſonſt hier und da übliche Prüfung mit abſolutem Alkohol zeitraubend, koſtſpielig und ungenau iſt. Hier zeigt es ſich einmal wieder deutlich, wie in ſo vielen Fällen, daß eine phyſicaliſche Entdeckung, welche ſcheinbar ein nur theoretiſches Intereſſe hat, eine vorher nicht geahnte practiſche Anwendung geſtatten kann.

Anlangend die Theorie der kreisförmigen Polariſation muß ich mich auf eine kurze Andeutung der von Fresnel aufgeſtellten ſcharfſinnigen Erklärung beſchränken. Derſelbe zeigt, daß die hierher gehörigen Erſcheinungen genügend erklärt werden können, wenn man annimmt, daß die Theilchen des Aethers, welche Lichtſtrahlen in Quarzcryſtallen oder in den eine Drehung der Polariſationsebene bewirkenden Flüſſigkeiten fortpflanzen, nicht in geraden Linien, ſondern kreisförmig vibriren, und daß ſolche kreisförmige Schwingungen, wenn ſie von der rechten nach der linken Hand vor ſich gehen, eine etwas andre Elaſticität als bei der entgegengeſetzten Richtung herbeiführen. Durch ſchwierige, aber vollkommen entſcheidende Verſuche hat er nachgewieſen, daß ſich ein nach der Richtung der Axe durch den Bergcryſtall gehender Strahl in zwei Strahlen theilt, die zwar beide der Axe folgen, aber ungleiche Geſchwindigkeiten haben, und hinſichtlich ihrer Eigenſchaften von den beiden Strahlen, die bei der doppelten Brechung hervorzugehen pflegen, weſentlich verſchieden ſind, wie ſich aus Folgendem zeigt: 1) Jeder von beiden giebt, durch ein doppelt brechendes Prisma betrachtet, zwei Bilder von gleicher Intenſität, in welcher Ebene der Hauptſchnitt des letztern auch liegen mag; in dieſer Hinſicht gleichen ſie dem unpolariſirten Lichte. 2) Fällt einer von ihnen ſenkrecht auf eine Seitenfläche eines ſchiefen Parallelepipedums von Glas, erleidet an zwei andern Seitenflächen eine

Totalreflexion und bringt durch die vierte Seitenfläche in ſenkrechter Richtung wieder hervor, ſo iſt er in einer Ebene polariſirt, welche mit der Ebene der Reflexion einen Winkel von 45 Grad bildet, und zwar iſt der eine 45 Grad rechts, der andre 45 Grad links von derſelben polariſirt. 3) Wenn ein ſolcher Strahl parallel der Axe durch ein dünnes Cryſtallblättchen geht, ſo wird er durch doppelte Brechung in zwei Strahlen zerlegt, welche Ergänzungsfarben zeigen. 4) Wenn endlich ein ſolcher Strahl längs der Axe durch Bergcryſtall oder durch Schichten von Terpentinöl, Citronenöl u. ſ. w. geht und dann durch ein doppelt brechendes Prisma zerlegt wird, ſo bringt er (und darin weicht er von dem polariſirten Lichte ab) keine Farbenerſcheinungen hervor.

Seebek'ſche Farben.

Verweilen muß ich noch bei den ſchönen und leicht darzuſtellenden Farbenringen, die ſich in ſchnell gekühlten Glasplatten darſtellen. Nimmt man Platten von reinem Glaſe, etwa 2 Linien dick, und läßt ſie nach dem Glühen ſchnell abkühlen, ſo ſind ſie geeignet, dieſe Erſcheinungen hervorzubringen.[1] Man ſtellt nämlich die Spiegel des Polariſationsinſtruments beide auf den Polariſationswinkel, bringt eine oder mehrere ſolcher Platten ſo, daß ſie vom polariſirten Strahle ſenkrecht getroffen werden, zwiſchen die Spiegel, und blickt nun, während das Licht weißer Wolken auf den erſten Spiegel fällt, in den zweiten Spiegel. Iſt der zweite Spiegel ſo geſtellt, daß er die polariſirten Strahlen nicht zurückwirft, ſo ſieht man bei einer viereckigen Glasplatte, deren eine Seite mit der erſten Reflexionsebene parallel, die andre auf ſie ſenkrecht iſt, ein ſchwarzes Kreuz durch die Mitte der Seiten gehend, ſo wie **IX. Fig. 41** darſtellt; in den Ecken aber zeigen ſich Flecke, die einfarbig ſeyn oder auch ſchon Ringe mehrerer Farben darſtellen können.[2] Legt man eine zweite Platte auf die erſte, ſo daß ihre Seiten zuſammenfallen, ſo bleibt jenes Kreuz, aber in den Ecken nimmt die Zahl der Farben, welche in Kreiſen und Theilen von Kreiſen jenen vorhin ſchon bemerkten Fleck umgeben, zu; dieſe Zahl von Ringen ſteigt noch mehr bei vermehrten Platten, und man nimmt wahr, daß die Farben nach dem Geſetze der Newton'ſchen Farbenringe fortſchreiten. Dreht man nun den zweiten Spiegel in ſeiner Faſſung um 90°, ſo daß die polariſirt aus dem erſten Spiegel kommenden Strahlen vollkommen zurückgeworfen werden müſſen, ſo ſieht man im zweiten Spiegel ein weißes Kreuz ſtatt des ſchwarzen, und die Farben erſcheinen in gleicher Anordnung, aber ſo, daß es allemal die Ergänzungsfarben der eben vorhin beobachteten ſind. Dieſe ſchönen Farbenerſcheinungen ſind von Seebek entdeckt und heißen daher die Seebek'ſchen Farben.

Die Erklärung dieſer Farben, die man auch entoptiſche genannt hat, weil

[1] Selbſt größere Stücke aus dem Boden der Bologneſer Gläſer zeigen das ſchwarze Kreuz.

[2] Die vier Arme des ſchwarzen Kreuzes breiten ſich ganz nahe an dem Rande der Platte ſeitwärts aus, und wenn man die Platte ein wenig von der oben angegebenen Stellung entfernt, ſo daß ihre Seiten etwas geneigt gegen die erſte Reflexionsebne ſind, ſo ſind die vier Arme des Kreuzes faſt wie ein S gekrümmt.

ſie im Innern der Körper zu entſtehen ſcheinen, muß offenbar nach den frühern Grundſätzen hergeleitet werden; aber da das ſchnell gekühlte Glas keine eigentliche Cryſtallform darbietet und deshalb auch keine ſolche innere Bildung wie bei natürlichen Cryſtallen vorauszuſetzen iſt, ſo ſind dieſe Farbenerſcheinungen nicht ſo wie beim Doppelſpath von der Form der Platte unabhängig, ſondern ſie ändern ſich, wenn man Stücke derſelben Platte abſchneidet. Die Lage jener, den Kreisbogen zugehörigen Mittelpunkte muß ſich alſo theils durch die Bildung im Innern, ſo wie ſie bei dem ſchnellen Abkühlen entſteht, theils aber auch durch jede Aenderung in der äußern Form beſtimmen, worüber noch keine genauen Regeln bekannt ſind.

Polariſirtes Licht, das vom blauen Himmel ausgeht. — Biot's Vorſchlag zur Vergleichung der Farben.

Endlich zum Schluſſe dieſer weitläufigen Mittheilungen über die Polariſirung des Lichtes will ich nur noch zwei Bemerkungen anführen. Die erſte betrifft die Polariſirung des vom blauen Himmel zurückgeworfenen Lichtes. Ich habe immer verlangt, daß das Licht weißer Wolken auf den erſten Spiegel unſers Inſtrumentes fallen ſollte, weil dieſes Licht noch keine urſprüngliche Polariſation beſitzt, läßt man dagegen Licht vom blauen Himmel auffallen, ſo findet man in dieſem meiſtens ſchon Spuren von Polariſation, ehe es noch den Spiegel trifft. Man kann dieß leicht wahrnehmen, indem man ein dünnes Gypsblättchen ſo hält, daß das vom blauen Himmel kommende Licht durch daſſelbe gehen muß, ehe es den erſten Spiegel erreicht; ſieht man dann ungefähr in der Richtung des Polariſationswinkels in dieſen erſten Spiegel, ſo iſt das Bild des Gypsblättchens darin farbig zu ſehen, was nicht der Fall wäre, wenn ein unpolariſirtes Licht durch den Gyps auf den erſten Spiegel gefallen wäre. Ebenſo geben auch die geglühten Glasplatten, wenn ſie in der vorhin angegebenen Lage gehalten werden, im erſten Spiegel geſehen die Seebeck'ſchen Figuren, und dieſe Erſcheinungen ſind ungleich, je nachdem man die Strahlen von verſchiedenen Punkten des Himmels, die mehr oder minder der Sonne entgegengeſetzt ſind, in den Spiegel fallen läßt.

Die zweite Bemerkung betrifft Biot's Vorſchlag zu einem Farbenmaaße. Die Polariſation des Lichtes bietet uns erſtlich ein Mittel dar, die farbigen Körper von ihrem Spiegelglanze zu befreien und daher ihre Farben reiner hervortretend zu zeigen, wie Sie ſich aus der vorigen Vorleſung erinnern werden; aber zweitens geben auch Gypsblättchen von genau beſtimmter Dicke in den vorhin betrachteten Verſuchen immer gleiche Farben, und dieſe können daher zu ſtreng vergleichbaren Farbenangaben dienen, mit denen ſich die Farben der natürlichen Körper in den meiſten Fällen genau vergleichen laſſen; Biot hat hiezu noch nähere Anleitung gegeben.

Dieſe durch die Polariſirung des Lichtes hervorgehenden Erſcheinungen mögen hinreichen, um Ihnen zu zeigen, welche ganz neue Eigenſchaften des Lichtes uns durch ſie bekannt geworden ſind. Erſchöpft iſt die große Menge

der Erſcheinungen, die man als von der Polariſirung abhängend kennen gelernt hat, damit noch lange nicht; aber theils ſcheint es mir nicht angemeſſen, Sie mit Verſuchen zu unterhalten, deren Erklärung noch ſchwieriger iſt, theils muß ich doch auch den Mittheilungen über eine einzelne Claſſe von Phänomenen ein Ziel ſetzen.

Siebenundvierzigſte Vorleſung.

Nachdem ich Sie ſo lange mit den Unterſuchungen über den Weg der Lichtſtrahlen, über die Geſetze der Fortpflanzung des Lichtes, unterhalten habe, muß ich Sie doch endlich auch noch mit den verſchiedenen Entſtehungsarten des Leuchtens und mit den chemiſchen Wirkungen, die das Licht ausübt, bekannt machen.

Lichterzeugung beim Verbrennen und bei andern chemiſchen Prozeſſen.

Woher die ſelbſtleuchtenden Himmelskörper ihr Licht haben, ob die dortige Lichterzeugung mit der beim Verbrennen Aehnlichkeit habe oder nicht, das liegt ſo weit außer dem Kreiſe unſrer Forſchungen, daß ich dieſe Frage wohl ganz übergehen darf. Auf der Erde iſt bekanntlich der Verbrennungsproceß derjenige, der neben der Wärme zugleich auch das lebhafteſte Licht hervorbringt. Wir wiſſen nicht, ob hier bei der Zerſetzung des Sauerſtoffgaſes, womit oft zugleich eine Zerſetzung der brennenden oder glühenden Körper, faſt allemal aber eine Verbindung des Sauerſtoffs mit einem Beſtandtheile des brennbaren Körpers verbunden iſt, ein Freiwerden des Lichtſtoffs ſtatt findet, oder ob die Gewalt der chemiſchen Veränderungen jene Vibrationen des Aethers hervorbringt, die wir nach den ſchon angeführten Meinungen vielleicht als Urſache der Lichterſcheinungen anſehen müſſen. Da dieſe Erſcheinungen des Glühens mit oder ohne Flamme immer mit ſtarker Wärmeentwickelung verbunden ſind, ſo werde ich von den genauern Bedingungen der Verbrennung bei einer andern Gelegenheit reden und jetzt nur einige Fälle, wo vorzüglich glänzendes Licht erſcheint, erwähnen. Dahin gehört das Verbrennen des Phosphors, ja auch andrer brennbarer Körper, ſelbſt der Metalle, im Sauerſtoffgas, wo die bei der Hitze eintretende lebhafte Zerſetzung dieſer Luftart ein das Auge blendendes Licht hervorbringt. Ein zweiter Fall eines glänzend hervortretenden Lichtes iſt das von Drummond zuerſt beſchriebene helle Glühen des Kalks im Sauerſtoffgas. Obgleich nämlich das Glühen nicht nothwendig die Gegenwart des Sauerſtoffs fordert, ſo wird es doch allemal bei dem Zutritt des Sauerſtoffgaſes und durch die Zerſetzung deſſelben lebhafter; in ausgezeichnetem Maaße aber iſt dieß der Fall, wenn man Kreide d. i. kohlenſauren Kalk der Erhitzung durch Weingeiſtflammen ausſetzt und dabei einen Strom jener Luftart ſowohl die Flammen anfachen, als die Kalkmaſſe ſelbſt treffen läßt.

Aber nicht bloß beim Zerſetzen des Sauerſtoffgaſes entſteht Licht, ſondern auch in vielen andern Fällen, wo chemiſche Verbindungen eintreten, namentlich wenn Metalle mit Schwefel ſtark erhitzt werden, wenn Terpentinöl mit Salpeterſäure und Schwefelſäure gemiſcht wird u. ſ. w.

Zu dieſen Lichtentwickelungen, welche chemiſchen Zerſetzungen und Verbindungen ihren Urſprung verdanken, gehört auch das in niedrigen Temperaturen ſtatt findende Leuchten des Phosphors, der eben von dieſer Eigenſchaft ſeinen Namen hat. Auch hier iſt das Leuchten in der atmoſphäriſchen Luft mit einer Zerſetzung des Sauerſtoffgaſes verbunden, die durch eine Verbindung des Sauerſtoffs mit Phosphor zu Phosphorſäure und im eingeſchloſſenen Raume durch eine Verminderung der Luft kenntlich wird. Dieſe Verbindung, die alſo als ein langſames Verbrennen des Phosphors anzuſehen iſt, findet ſchon bei ſehr niedrigen Temperaturen ſtatt; das lebhafte Verbrennen deſſelben tritt in atmoſphäriſcher Luft bei 30° Reaum. ein, und ein unter Waſſer erhitzter Phosphor leuchtet auch da. Es iſt merkwürdig, daß, obgleich dieſes Leuchten auch bei niedrigen Temperaturen auf der Verbindung mit dem Sauerſtoff beruht, es dennoch im ganz reinen Sauerſtoffgas, wenn dieſes die Dichtigkeit beſitzt, welche dem gewöhnlichen Drucke der Luft entſpricht, bei niedrigen Temperaturen nicht ſo gut eintritt; verdünnt man dagegen dieſe Luftart, ſo treten ſogleich weiße Dämpfe aus dem Phosphor hervor und das Leuchten ſtellt ſich ein, ſelbſt bei niedrigen Wärmegraden; ebenſo wie im letzten Falle verhält es ſich, wenn der Phosphor ſich in einer mit Stickgas vermiſchten Sauerſtoffluft befindet.

Phosphoreſcenz durch Erwärmung.

Weſentlich hiervon verſchieden ſcheinen diejenigen Erſcheinungen von Phosphoreſcenz zu ſeyn, die, ohne merkliche chemiſche Veränderungen in den Körpern zu bewirken, bei der Erwärmung eintreten. Eine Menge von Körpern beſitzt die Eigenſchaft, erwärmt dieſes ſtille Leuchten ohne Verbrennung, das wir Phosphoreſcenz nennen, hervorzubringen. Unter dieſen gehört der Flußſpath zu den vorzüglich ausgezeichneten, indem er ſchon bei 55° Reaum. leuchtet und nach Verſchiedenheit der einzelnen Stücke ein violettes, grünes oder gelbes Licht ausſendet. Bei einigen Flußſpathen iſt die Farbe des Lichtes bei erheblicher Wärme grün und geht beim Abkühlen ins Violette über. Auf einen heißen Ofen gelegt ſieht man ihn faſt allemal leuchten, jedoch iſt dieſes Licht, wie alle dieſe Phosphoreſcenzen, nur im Dunkeln kenntlich. Die ſehr zahlreichen Verſuche von Heinrich zeigen, daß es ſehr viele Mineralien giebt, die erwärmt wenigſtens ein ſchwaches Licht geben, jedoch oft ſo ſchwach, daß nur das lange im tiefſten Dunkel verweilende Auge empfindlich genug iſt, um es wahrzunehmen. Unter den uns täglich vorkommenden Körpern leuchten Eierſchalen auf einer heißen Metallplatte grünlich und bei geringerer Hitze gelb, Auſterſchalen grünlich, Bernſtein ſehr glänzend u. ſ. w.

Phosphoreſcenz durch Beſtrahlung.

Eine vorzüglich merkwürdige Art der Phosphoreſcenz iſt die durch Beſtrahlung. Manche Körper nämlich haben die Fähigkeit, nachdem ſie der Sonne ausgeſetzt geweſen ſind und ihre Strahlen gleichſam eingeſogen haben, lange Zeit im Dunkeln Licht auszuſenden. Einige Diamanten beſitzen dieſe Eigenſchaft in ſo hohem Grade, daß ſie, wenige Secunden den Sonnenſtrahlen ausgeſetzt, eine Stunde lang, ſelbſt unter Waſſer, ſich im Dunkeln leuchtend zeigen; aber nur wenige beſitzen dieſe Vollkommenheit des Leuchtens. Wenn man Diamanten den blauen Lichtſtrahlen ausgeſetzt hat, ſo zeigen ſie ſich beſſer leuchtend, als wenn man ſie den rothen Strahlen ausſetzt. Einige Diamanten, welche urſprünglich die Eigenſchaft, leuchtend zu werden, nicht beſaßen, haben ſie (nach Deſſaigne's Erzählung) erlangt, wenn man ſie gegen einander geſtoßen oder mit Feilen geſchlagen hatte. Auch der Flußſpath, der durch Erwärmung ſo bedeutend leuchtet, wird durch eine auch nur kurze Zeit dauernde Beſtrahlung auf geraume Zeit ſelbſtleuchtend, nur muß man, wie ſich von ſelbſt verſteht, die Beobachtung ſogleich im tiefen Dunkel anſtellen, nachdem mag ihn ſo eben den Sonnenſtrahlen ausgeſetzt hatte.

Vorzüglich verdienen einige künſtlich bereitete Körper hier erwähnt zu werden. Der Bononiſche oder Bologneſiſche Leuchtſtein, beſtehend aus gepulvertem Schwerſpath, der durch Eiweiß wieder zu einer Maſſe verbunden und lange ſtark geglüht iſt, braucht nur $^1/_4$ Min. der Sonne ausgeſetzt zu werden, um längere Zeit, zuweilen eine Stunde lang, im Dunkeln feurig roth zu erſcheinen. Der Canton'ſche Phosphor, beſtehend aus gebrannten Auſterſchalen mit ein Drittel ſo viel Schwefelleber gemiſcht und eine Stunde lang ſtark geglüht, zeigt ähnliche Erfolge. Aber noch ſchöner zeigt dieſe Eigenſchaft, nach Oſann's Beobachtung, der Antimonphosphor. Dieſen erhielt Oſann, indem er calcinirte Auſterſchalen mit Schwefelantimon ebenſo behandelte, wie es bei Verfertigung des Canton'ſchen Phosphors geſchieht, und fand ihn, unter gleichen Umſtänden mit dem Bononiſchen Phosphor eine Minute lang dem Tageslichte ausgeſetzt, 149 Minuten leuchtend, während das Leuchten bei dem letztern nur 4 Minuten dauerte. Auch durch Erwärmung zeigt dieſer Leuchtſtein ſchöne Wirkungen.

In Hinſicht auf die Schlüſſe, welche ſich vielleicht über die Entſtehung dieſes Leuchtens ziehen laſſen, ſind vorzüglich einige von v. Grotthus angeſtellte Verſuche merkwürdig. Er beobachtete das Leuchten ſowohl durch Erwärmung als durch Beſtrahlung an einer Flußſpathart, die den Namen Chlorophan führt, und fand hier Folgendes. Wenn dieſer Stein ſehr lange im Dunkeln aufbewahrt war und nun, ohne dem Lichte ausgeſetzt geweſen zu ſeyn, im Dunkeln beobachtet wurde, ſo leuchtete er nicht und ward auch durch eine mäßige Wärme nicht leuchtend; war er aber auch nur einige Minuten dem Sonnenlichte ausgeſetzt geweſen, ſo behielt er mehrere Tage lang, vorzüglich wenn man ihn in der Zwiſchenzeit zwiſchen den Verſuchen in einer

Schachtel dicht verſchloſſen aufbewahrte, die Eigenſchaft, im Dunkeln zu leuchten. Hörte dann, indem man ihn immer nur im Dunkeln aus der Schachtel herausnahm, damit er nicht aufs Neue der Beſtrahlung ausgeſetzt ſey, nach mehrern Tagen ſein Leuchten auf, ſo brachte doch die Wärme der Hand ihn wieder zum Leuchten, und ſpäter, ſelbſt nach 36 Nächten, reichte doch eine Wärme von 40° Reaum. dazu hin. Wurde er in kalter Luft der Sonne ausgeſetzt, ſo leuchtete er in der Wärme im Dunkeln deſto ſchöner. Von Grotthus zieht hieraus den Schluß, daß alle durch Erwärmung hervorgehende Phosphoreſcenz nur in Folge einer frühern Beſtrahlung eintrete und alſo nur eine Wirkung des empfangenen Lichtes ſey. Daß übrigens bei der Beſtrahlung die Wärme keinen Antheil an dem Leuchtendwerden hat, erhellt aus der oft nur ſehr kurze Zeit nöthigen und bei großer Kälte ebenſo guten Erfolg herbeiführenden Einwirkung der Sonnenſtrahlen.

Hier ſcheint es alſo allerdings, als ob man ſagen dürfe, die auf den Körper fallende und von ihm eingeſogene Lichtmaterie ſtröme nachher wieder aus; jedoch ſtimmt damit das nicht überein, daß es keinen merklichen Einfluß auf die Farbe des phosphoriſchen Lichtes hat, wenn man den Körper einem einfach farbigen Lichte ausſetzt. Dieſes Letztere ließe ſich wohl eher durch Undulationen erklären, wenn man ſagte, daß die auf den Körper treffenden Lichtwellen ihn doch immer zu denjenigen Vibrationen, die ſeiner eigenthümlichen Beſchaffenheit angemeſſen ſind, anregen; aber da erhellt wieder durchaus nicht, warum denn das Aufbewahren im eng verſchloſſenen Raume dieſe Vibrationen hindert, und warum ſie wieder eintreten, wenn man den Körper wieder frei im Dunkeln aufſtellt. Es ſcheint ſich daher auch hier keine Entſcheidung für eine der beiden Theorieen zu ergeben.

Phosphoreſcenz lebender Thiere, todter thieriſcher Körper und Pflanzen. Leuchten des Meeres.

Sehr merkwürdig ſind unter den Erſcheinungen des Leuchtens die, welche ſich uns an lebenden Thieren und an Theilen todter, ſo wie an Pflanzen, darbieten. Das Leuchten des Holzes iſt bekannt. Nach Heinrich's Bemerkung iſt nicht ſchon ein gewiſſer Grad der Fäulniß nöthig, um einiges Leuchten hervorzubringen, ſondern ſelbſt geſundes Holz leuchtet, vorzüglich Wurzelſtücke, jedoch nur dann, wenn ihnen die volle Lebenskraft, um neue Schößlinge hervorzubringen, fehlt. Indeß iſt in den meiſten Fällen dieſe Phosphoreſcenz wohl ſehr ſchwach, und zu dem Hervorbringen des ziemlich lebhaften, ſelbſt in der Dämmerung ſchon kenntlich werdenden weißen Lichtes, das wir zuweilen am Holze wahrnehmen, ſcheint ein ſehr beſtimmter Grad von Fäulniß zu gehören. In einzelnen Fällen hat man ganze morſch gewordene Baumſtämme im Dunkeln leuchtend geſehen. Dieſes Leuchten dauert ſelbſt unter Waſſer fort, ſcheint aber im Sauerſtoffgas nicht lebhafter zu werden.

Unter den todten Thieren ſind die Seefiſche ganz vorzüglich zum Leuchten geeignet und zeigen ſich am beſten in dem Zeitraume leuchtend, der, ein oder

zwei Tage nach dem Tode, der Fäulniß vorhergeht; bei der Fäulniß ſelbſt nimmt das Leuchten wieder ab. Aber noch weit merkwürdiger und oft einen ungemein ſchönen Anblick darbietend iſt das Leuchten lebender Thiere, unter denen uns die Johanniswürmchen am bekannteſten ſind. Das ſchöne grünliche Licht dieſer an warmen Sommerabenden oft in großer Menge herumſchwärmenden und im Graſe kriechenden Inſecten gewährt in der Dunkelheit eines recht freundlichen, milden Sommerabends ein zauberiſch-ſchönes Schauſpiel. Aber auch hier können wir faſt bloß angeben, was man beobachtet hat, ohne die eigentlichen Urſachen des Leuchtens näher auffinden zu können. Das Leuchten ſcheint da ſtatt zu finden, wo kleine Oeffnungen in der Haut uns die innern Theile als durchblickend zu ſehen erlauben; auch wo das Thier durch einen Stich verwundet iſt, tritt dieſe leuchtende Subſtanz hervor. Das Leuchten dauert ſelbſt nach dem Tode noch einige Zeit fort, iſt aber doch am lebhafteſten, ſo lange das Thier ſeine volle Lebensthätigkeit hat. Da von dieſer viel abzuhängen ſcheint, ſo läßt ſich über den unmittelbaren Einfluß des Sauerſtoffgaſes und andrer Luftarten auf das Leuchten nicht gut urtheilen, indem diejenigen Luftarten, welche die Lebensthätigkeit erhöhen, gewiß mittelbar das Leuchten befördern. Dagegen ſcheint das Sonnenlicht am Tage das Leuchten am Abend zu befördern, indem Thierchen ähnlicher Art ſich nicht leuchtend gezeigt haben, wenn man ſie am Tage im Dunkeln aufbewahrt hatte.

Die warmen Gegenden der Erde ſind noch reicher an leuchtenden Thieren, und einige unter dieſen ſind ſehr groß. Der Laternenträger in Surinam ſoll ſo viel Licht geben, daß die dort lebenden Menſchen ihn als Leuchte beim Reiſen im Dunkeln gebrauchen.

Von einem ſolchen Leuchten lebender Thiere hängt in den meiſten Fällen auch das Leuchten des Meeres ab. Am häufigſten ſcheint ſich dieſes feurige Leuchten des Meerwaſſers in den heißen Gegenden zu zeigen, aber auch in unſern Gegenden kömmt es vor, z. B. in der Nord- und Oſtſee; dort wie hier zeigen die Vergrößerungsgläſer eine große Menge von Thierchen der verſchiedenſten Arten, die dazu beitragen. Da dieſe Thierchen bei der Bewegung am meiſten leuchten, ſo bringt die Bewegung des Waſſers ein verſtärktes Leuchten hervor. Außer dieſem eigentlichen Leuchten hat man auch ein ganz weißes Glänzen, als ob das Waſſer mit Schnee bedeckt wäre, geſehen.

Lichtentwickelung beim Stoßen, Reiben und Zerbrechen feſter Körper.

Es iſt ſehr bekannt, daß Zucker, im Dunkeln zerbrochen oder zerſchlagen, leuchtet, und daſſelbe findet bei zahlreichen ſpröden Körpern, vorzüglich bei cryſtalliſirten, ſtatt. Auch hier muß man einzig durch Verſuche diejenigen Körper, welche dieſe Eigenſchaft in vorzüglichem Grade beſitzen, kennen lernen; doch hat Heinrich gefunden, daß die durch Erwärmung gut leuchtend werdenden Körper auch beim Zerbrechen Licht zu geben pflegen. Reibt man ſolche Körper

an einander, ſo pflegt, wie namentlich bei weißem Zucker, das Leuchten noch ſchöner zu ſeyn. Dieſes Leuchten iſt bekanntlich oft ohne erhebliche Wärme und kann alſo mit dem Glühen, dem es ohnehin nicht gleicht, nicht zuſammengeſtellt werden. Daß Electricität dabei ſtatt findet, iſt wenigſtens für die meiſten Fälle eben nicht glaublich. Aber bekannt iſt, daß bei ſtarkem und fortgeſetztem Reiben die lebhafteſten Lichterſcheinungen hervorgehen können, daß z. B. Körper, die ſonſt ſehr wenig zum Phosphoreſciren geneigt ſind, an einen ſchnell gehenden Mühlſtein gehalten, leuchtend werden, wozu freilich die dabei ſtatt findende Erhitzung mitwirkt. Die Farbe des hier entſtehenden Lichtes iſt nach Verſchiedenheit der Körper verſchieden, aber auch ungleich bei mehr oder minderer Schnelligkeit und Gewalt des Reibens, wobei es aus dem matten weißlichen oft ins feuerrothe übergeht. Wo wegen großer Hitze, die durch Reiben entſtanden iſt, ein Glühen von Metallen, z. B. der feinen abgeſtoßenen Stahltheilchen, entſteht, da hat die umgebende Luft Einfluß auf die Erſcheinungen, und Sauerſtoffgas verſtärkt ſie.

Phosphoreſcenz bei der Cryſtalliſation und bei der Zuſammendrückung flüſſiger Körper.

Zu dieſen Erſcheinungen, die faſt alle räthſelhaft ſind, muß ich noch folgende beifügen. Auch bei der Cryſtalliſirung, wenn gewiſſe Salze ſich ausſcheiden, hat man zuweilen ein lebhaftes Leuchten bemerkt. Endlich entſteht auch bei plötzlicher Aenderung der Dichtigkeit der Luft ein Leuchten, ſowohl wenn man Luft (am beſten Sauerſtoffgas und Waſſerſtoffgas gemiſcht) durch einen Stoß comprimirt, als wenn die in einer Blaſe verdichtete Luft dieſe zerſprengt und ſich ausdehnt. Dieſes Licht bei plötzlicher Ausdehnung der Luft wird oft beim Abſchießen der Windbüchſe wahrgenommen, und ſcheint da ſich verſtärkt zu zeigen, wenn die ſehr verdichtete Luft auf harte Körper ſtößt; ob dann, wie einige glauben, Electricität frei wird, oder ob der Widerſtand, welchen dieſe feſten Körper der Ausdehnung der Luft entgegenſetzen, Urſache des Leuchtens ſey, iſt noch unbekannt. Selbſt die plötzliche Compreſſion eines ſorgfältig eingeſchloſſenen Waſſers giebt, nach Verſuchen von Deſſaigne und Heinrich, ein merkliches Leuchten.[1]

Chemiſche Wirkungen des Lichtes.

Alle dieſe Verſuche haben uns der Entſcheidung der Frage, ob das Licht als Materie, als Beſtandtheil der Körper anzuſehen ſey, faſt gar nicht näher gebracht, indem freilich bei den Zerſetzungen ſich dieſes allenfalls mit einigem Grunde annehmen läßt, aber in andern Fällen das Entweichen dieſes Lichtſtoffs

[1] Da ich in der erſten Abth. des Art. Licht in Gehler's Wörterbuch alles, was mir über die Entſtehung des Leuchtens bekannt geworden iſt, benutzt habe, ſo verweiſe ich in Hinſicht auf Literatur auf dieſen Artikel.

wenigſtens keine ſolchen Veränderungen in den Körpern hervorbringt, daß man darüber irgend etwas Sicheres ſagen könnte. Iſt der Lichtſtoff aus den durch Beſtrahlung leuchtend gewordenen Körper entwichen, ſo ſcheinen uns die Körper darum noch eben dieſelben, und hier ſowohl als in den Fällen, wo die das Licht nicht zurückſtrahlenden Körper es in ſich aufzunehmen ſcheinen, bleibt uns nichts übrig, als zu ſagen, daß dieſe feine Materie in den Körpern vorhanden ſeyn kann, ohne uns große Zeichen ihrer Gegenwart zu geben.

Etwas entſcheidender für die Materialität des Lichtes ſcheinen die (verhältnißmäßig wenigen) Fälle zu ſeyn, wo der Einfluß des Lichtes merkliche Veränderungen in den Körpern hervorbringt. Ich werde nur einige dieſer Fälle anführen.

Das Hornſilber oder Chlorſilber, welches durch Kochſalz als Niederſchlag aus ſalpeterſaurer Silberauflöſung erhalten wird, nimmt, ſtatt der zuerſt weißen Farbe, im Lichte eine violette Farbe an und wird dann ſchwarz. Hiebei iſt merkwürdig, daß der violette Strahl dieſe Schwärzung am ſchnellſten und vollkommenſten bewirkt, und daß ſie neben dem prismatiſchen Farbenbilde ſelbſt da noch ſtatt findet, wo über die Grenzen des Violett hinaus keine ſichtbaren Lichtſtrahlen mehr hin gelangen. Es ſcheint hiernach, daß es Sonnenſtrahlen giebt, die noch ſtärker brechbar als die violetten ſind, aber auf unſer Auge im höchſten Grade ſchwach wirken und nur durch dieſe Einwirkung auf chemiſche Veränderungen ſich uns merklich machen, weshalb man ſie chemiſche Strahlen nennen könnte. Und ſo wie hier jenſeits der am meiſten gebrochenen violetten Strahlen noch Wirkungen des Lichtes hervorgehen, ſo zeigt ſich umgekehrt an den Grenzen der am wenigſten brechbaren rothen Strahlen noch Wärme; es ergiebt ſich alſo, daß die Wärmeſtrahlen ſich mehr mit den minder brechbaren Lichtſtrahlen, diejenigen Strahlen aber, welche chemiſche Wirkungen hervorbringen, mehr mit den ſtärker gebrochenen Lichtſtrahlen vereinigt finden. Ebenſo ungleiche Wirkungen zeigen die verſchiedenen Farbenſtrahlen auf eine Miſchung gleicher Mengen Chlorgas und Waſſerſtoffgas. Dieſe Miſchung bleibt in mäßigen Temperaturen im Dunkeln unverändert, im bloßen Tageslichte verbinden ſich die beiden Luftarten langſam zu Salzſäure, im Sonnenlichte aber erfolgt dieſe Verbindung ſchnell und mit Verpuffung. Setzt man die Miſchung dem Sonnenlichte ſo aus, daß es nur durch rothes Glas zu derſelben gelangen kann, ſo tritt die Verbindung gar nicht oder höchſtens ſehr langſam ein, unter blauem Glaſe dagegen erfolgt ſie bald und wohl gar auch mit Verpuffung. Vogel hat bemerkt, daß die Blätter der Klatſchroſe ſich unter blauem Glaſe ſchneller entfärben, als unter farbloſem Glaſe. Aehnliche Einwirkungen des Lichtes überhaupt und der einzelnen Farbenſtrahlen finden vielfältig ſtatt, doch läßt ſich ein allgemeines Geſetz, ob das Licht oxydirend oder desoxydirend wirke oder ſonſt zur Entwickelung beſtimmter Stoffe und zur Verbindung andrer vorzugsweiſe beitrage, nicht angeben.

Daß dieſe in den Veränderungen wägbarer Beſtandtheile kenntlichen Erfolge ſich beſſer durch den Zutritt einer Lichtmaterie als durch Vibrationen erklären

laſſen, ſcheint wohl einleuchtend; doch hat Arago gezeigt, daß die Interferenzen auch bei den chemiſchen Einwirkungen merklich ſind. Er ſtellte nämlich zwei ſehr wenig gegen einander geneigte Spiegel ſo auf, wie es früher (S. 501) angegeben worden iſt, ſo daß man die durch Interferenz ſich darſtellenden hellen und dunkeln Streifen wahrnehmen konnte. Dieſen Strahlen wurde friſch bereitetes Chlorſilber ausgeſetzt, und es zeigte ſich nun, daß die Schwärzung deſſelben ebenſo unterbrochen war oder ſich mit ungeſchwärzten Zwiſchenräumen ebenſo darſtellte, wie ſich die Lichterſcheinung dem Auge zeigte. Alſo waren die Stellen, wo das Zuſammentreffen zweier Lichtſtrahlen die Erleuchtung unterbricht, auch in chemiſcher Beziehung von dem Lichte nicht verändert worden. Indeß, wenn gleich dadurch die Ueberzeugung ſich beſtätigt, daß zwei Lichtſtrahlen auf die ſchon oben angegebene Weiſe ihre Wirkungen aufheben, ſo bleibt es doch noch immer unentſchieden, ob ein regelmäßig wechſelnder Zuſtand der Lichttheilchen, wie die Emanationstheorie ſie annimmt, oder ob eine regelmäßige Folge der nach Fresnel's Theorie anzunehmenden, jeden Augenblick ihre Richtung ändernden Quervibrationen die Urſache dieſer Interferenzen iſt, oder — müſſen wir wohl hinzuſetzen — ob wir einer in weſentlichen Punkten von beiden Anſichten abweichenden Theorie bedürfen, um die Erſcheinungen des Lichtes zu erklären.

Lichtbilder.

Auf den chemiſchen Wirkungen, welche das Licht hervorbringt, beruht eine der werthvollſten und merkwürdigſten Erfindungen der neueſten Zeit: die Erfindung der Lichtbilder, als deren Urheber vorzugsweiſe die Franzoſen Daguerre, der ſie im J. 1839 bekannt machte, und Niepce genannt werden müſſen. Dieſelben haben nämlich ein Verfahren erfunden, um durch das Licht ſelbſt, ohne alle Beihülfe der Hand und ohne alle Kenntniß des Zeichnens, Abbildungen beliebiger Gegenſtände zu erhalten, welche zwar farblos oder vielmehr einfarbig ſind, wie die Kupferſtiche, Steindrücke u. ſ. w., aber an Treue alle andern Arten von Abbildungen übertreffen; es beſteht im Weſentlichen in folgenden einfachen Operationen, welche die Anwendung eines beſondern Apparats (des ſogenannten Daguerrotyps oder Daguerreotyps) erheiſchen. Eine plattirte, d. i. mit einem überaus dünnen Silberüberzuge verſehene Kupferplatte wird mit großer Sorgfalt gereinigt und polirt, dann in einem geſchloſſenen Gefäße, auf deſſen Boden ſich Jod befindet, den Dämpfen dieſes Stoffes ausgeſetzt, die ſich auf derſelben niederſchlagen und ſie tief goldgelb färben, und hierauf in eine beſonders conſtruirte Camera obſcura gebracht. Das Licht (am beſten Tageslicht) fällt mittels eines Linſenglaſes in einer horizontalen Röhre ein, das den Gegenſtänden, die ſich abbilden ſollen, zugekehrt iſt. Die richtige Entfernung der Platte von der Glaslinſe findet man vermittelſt eines mattgeſchliffenen Glaſes, das man ſo lange verſchiebt, bis es ein deutliches Bild des abzubildenden Gegenſtandes zeigt, und an deſſen Stelle man dann die Platte bringt. Iſt die Platte die gehörige Zeit (anfangs waren 8 bis 10 Minuten

nöthig, aber bei Anwendung der verbeſſerten Apparate, wie ſie jetzt gefertigt werden, reichen ſchon wenige Secunden hin, doch hängt die Zeitdauer von der Beſchaffenheit der Atmoſphäre und der Helligkeit der Beleuchtung ab) der Einwirkung des Lichtes ausgeſetzt geweſen, ſo wird ſie herausgenommen und, um das noch ganz unſichtbare Bild hervortreten zu laſſen, in ein andres Gefäß gebracht, wo die Dämpfe von 65—70° C. warmem Queckſilber auf dieſelbe ſtrömen und ſich auf die von lebhaftem Lichte getroffenen Theile der Oberfläche am reichlichſten niederſchlagen, die im Schatten gebliebenen aber ganz frei laſſen. Nun iſt das Bild zwar ſichtbar geworden, aber noch ſehr vergänglich, da es durch weitere Einwirkungen des Lichtes wieder zerſtört werden kann; um dieß zu verhüten, wird es in eine Auflöſung von unterſchwefligſaurem Natron oder in Ermangelung deſſelben in eine heiße geſättigte Kochſalzlöſung gebracht, worauf der gelbe Ueberzug der Silberfläche verſchwindet, und zuletzt mit heißem deſtillirtem Waſſer abgewaſchen.

Dieſe Abbildungsmethode, überall mit großem Eifer aufgenommen und ausgeübt, wurde ſehr bald bedeutend verbeſſert. Der optiſche Theil des Apparats wurde durch eine von Petzval in Wien erdachte und vom daſigen Optiker Voigtländer ausgeführte Linſencombination (zuſammengeſetzte Objective) außerordentlich vervollkommnet, was eine beträchtliche Verkürzung der zur Wirkung des Lichts erforderlichen Zeit zur Folge hatte. Dadurch wurde es möglich, das Verfahren auch auf Abbildung andrer als lebloſer Gegenſtände und insbeſondere auf Hervorbringung von Portraits anzuwenden, was Daguerre anfangs nicht für thunlich gehalten hatte. Jetzt iſt grade dieſe Anwendung des Daguerrotyps die gewöhnlichſte und Portraits dieſer Art ſind allgemein beliebt geworden. Ferner wurde die Empfindlichkeit der Platten (durch etwas der Jodflüſſigkeit zugeſetztes Brom und Anwendung einer Verbindung von Jod und Chlor ſtatt des reinen Jods) bedeutend erhöht und auch dadurch die Zeit der Entſtehung der Bilder abgekürzt. Nach Daguerre erreicht die Empfindlichkeit den höchſten Grad, wenn man die präparirten Platten electriſirt. Auch das künſtliche Licht (ſelbſt gewöhnliches Lampen- oder Kerzenlicht) hat man zur Hervorbringung von Lichtbildern geeignet gefunden. Berres in Wien bediente ſich des Hydro-Oxygengas-Microſcops und fand, daß das Licht deſſelben mit dem Sonnenlichte gleiche Wirkungen ausübt, ſo daß man das Daguerrotyp auch zur Anfertigung microſcopiſcher Zeichnungen anwenden könnte, wovon man ſich jedoch keinen großen practiſchen Nutzen verſprechen kann.[1] Bemerkenswerth ſind auch die Verſuche deſſelben Gelehrten, die Lichtbilder durch Aetzmittel zum Kupferdruck tauglich zu machen. Endlich iſt nicht unerwähnt zu laſſen, daß es dem Maler Iſenring in München und vielleicht gleichzeitig noch andern Künſtlern gelungen iſt, ein Verfahren zu erfinden, um den Lichtbildern nachträglich die ihnen abgehende, der Natur

[1] Neuerdings hat Hartig in Braunſchweig ſehr gelungene microſcopiſche Lichtbilder erhalten, welche die Gegenſtände (Staubſchüppchen von Schmetterlingsflügeln, Markzellen u. ſ. w.) zwar nicht ſtark vergrößert, aber ungemein ſcharf und deutlich zeigen. (M.)

entſprechende Färbung mitzutheilen, ohne dadurch einen ihrer eigenthümlichen Vorzüge aufzuopfern.

Bald nach Daguerre machte der engliſche Phyſiker Talbot auf die Ehre der erſten Erfindung Anſpruch, doch iſt das von ihm angewandte Verfahren ohne Zweifel weit unvollkommner als das von Daguerre. Statt der Metallplatten bedient er ſich (wie auch Daguerre anfangs that) eines ſogenannten photogeniſchen Papiers, das durch chemiſche Behandlung (mit Auflöſungen von ſalpeterſaurem Silberoxyd u. ſ. w.) für die Einwirkung des Lichts empfänglich und zu Lichtzeichnungen tauglich gemacht iſt. Mittels dieſes präparirten Papiers kann man Gegenſtände auch ohne Anwendung der Camera obſcura abbilden, z. B. Pflanzenblätter, Blumen, Bänder u. ſ. w., indem man das Licht durch dieſelben auf das Papier fallen läßt, wobei aber, umgekehrt wie bei dem Verfahren Daguerre's, diejenigen Stellen, die vom Lichte getroffen werden, dunkel gefärbt werden und alſo das in der Natur Dunkle im Bilde hell erſcheint. Auch Kupferſtiche können auf dieſe Weiſe copirt werden, wenn man von dem erſten verkehrten Bilde, das die weißen Stellen ſchwarz und die ſchwarzen weiß zeigt, ein zweites nimmt, das die hellen und dunkeln Stellen wieder umkehrt. Um die Bilder auf dem Papier zu fixiren, wäſcht Talbot daſſelbe mit einer Auflöſung von Jod- oder Bromkalium. Obgleich auch er ſeine Methode weiter ausgebildet und namentlich ſpäter ein ſehr empfindliches Papier (von ihm kalotypiſches Papier genannt) erfunden zu haben ſcheint, ſo hat ſie doch außer England noch nirgends Eingang finden wollen, und die von ihm gefertigten Bilder bleiben gegen die nach Daguerre's Verfahren erhaltenen erwieſenermaßen unendlich weit zurück.

Wirkungen unſichtbarer Lichtſtrahlen.

Eine ganz neuerlich bekannt gewordene Entdeckung Moſer's in Königsberg iſt ein neuer Fortſchritt, weniger in der Kunſt der Hervorbringung von Lichtbildern, als in der Kenntniß der Eigenſchaften des Lichtes, und zu intereſſant, um nicht hier erwähnt zu werden. Der gedachte Gelehrte hat nämlich gefunden, daß man auch ohne Licht, in der Finſterniß, eine Art von daguerrotypiſchen Bildern (um nicht zu ſagen Lichtbildern) der Gegenſtände auf Silberplatten oder andern Körpern hervorbringen kann, wenn man die abzubildenden Gegenſtände auf dieſelben legt oder denſelben nahe bringt. Er legte z. B. auf eine mit gravirten Figuren verſehene Achatplatte ſchmale Glimmerſtreifen und auf dieſe eine Silberplatte, ſo daß die Entfernung beider etwa $^1/_5$ Linie betrug; nach einigen Secunden wurde die Silberplatte Queckſilberdämpfen ausgeſetzt und zeigte hierauf ein vollkommen deutliches Bild der auf der Achatplatte befindlichen Figuren. Aus zahlreichen ähnlichen Verſuchen leitete er zuerſt folgendes Geſetz ab: „Wenn die Oberfläche eines Körpers von irgend einem andern Körper berührt worden iſt, ſo hat ſie die Eigenſchaft erhalten, alle Dämpfe, die überhaupt an ihr adhäriren oder mit denen ſie eine chemiſche Verbindung eingeht, an dieſen Stellen anders als an den übrigen Stellen zu condenſiren,

wodurch ein Abbild des berührenden Körpers entſteht.“ Später gelangte er zu dem höchſt merkwürdigen Satze: „daß zwei Körper, wenn ſie einander hinreichend genähert werden, ſich auf einander abbilden.“ Auf ähnliche Weiſe, als vorhin beſchrieben wurde, ließ er Gegenſtände von folgenden Stoffen ſich abbilden: reines und iodirtes Silber, Meſſing, Eiſen und Stahl (z. B. den Stempel einer Münze), Gold, Kupfer, Wismuth, Zinn, Blei, Zink, Glas, polirtes Horn, weißes (beſchriebenes) Papier, Gyps, Glimmer, Achat, Holz, Perlmutter, Pappe, Leder, Sammt, Kork, und zwar in der Regel auf Silber, aber auch auf Gold, Neuſilber, Kupfer, Meſſing, Eiſen, Stahl, Zink, Glas, Porzellan, Glimmer u. ſ. w., wobei ſich die zuletzt genannten Subſtanzen hauptſächlich nur durch den Grad ihrer Politur unterſchieden. Bei vielen betrug die Zeit der Einwirkung nur 10 Minuten; als die paſſendſte Entfernung giebt Moſer $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{9}$ Linie an, bei 1 Linie erhielt er noch deutliche, aber in ihren Theilen verwaſchene Bilder. Der Queckſilberdämpfe bedarf es bei dieſen Verſuchen nur dann, wenn die Einwirkung des Lichtes nur kurze Zeit gedauert hat; ſie ſetzen die vom Lichte empfangene Wirkung fort und machen ſie wahrnehmbar. Joddämpfe thaten dieſelbe Wirkung, wie denn Moſer gefunden hat, daß man die Wirkungen, welche das Licht auf irgend eine Subſtanz ausübt, durch alle Dämpfe prüfen kann, die an derſelben adhäriren oder auf ſie chemiſch einwirken. Bei längerer Einwirkung des Lichtes bedarf es keiner Dämpfe; wenn man z. B. eine iodirte Silberplatte irgend einem Körper im Dunkeln nahe bringt und der Wirkung die nöthige Zeit läßt, ſo zeigt die Platte nachher das Bild jenes Gegenſtandes, indem das Silberiodid an einigen Stellen mehr als an andern geſchwärzt iſt.

Zur Erklärung der gedachten merkwürdigen Erſcheinungen ſtellt Moſer den Satz auf, daß alle Körper ſelbſtleuchtende ſind (ohne daß dieſe Eigenſchaft erſt durch fremdes Licht erregt wird, wie bei der Phosphoreſcenz) und durch das von ihnen ausgehende Licht auf andre Körper wirken. In den meiſten Fällen iſt dieſes Licht freilich ſo ſchwach, daß wir es gar nicht ſehen können, und wir lernen hier alſo etwas kennen, was einen Widerſpruch zu enthalten ſcheint: unſichtbares Licht. In der Natur kommt indeß etwas ganz Aehnliches vor: unhörbare Töne, die wir entweder wegen ihrer zu großen Tiefe oder wegen ihrer zu großen Höhe nicht wahrnehmen können, die aber doch vielleicht von andern Weſen, von Thieren, die mit einem feinern Gehör begabt ſind, gehört werden. In dieſelbe Kategorie würden nun auch die unſichtbaren Lichtſtrahlen gehören. Eine Hauptſchwierigkeit ſcheint hierbei darin zu liegen, daß jeder leuchtende Punkt nach allen Richtungen hin Lichtſtrahlen ausſendet, während eine Abbildung eines Körpers auf einem ihm gegenüber befindlichen nur dann möglich zu ſeyn ſcheint, wenn jeder Punkt des erſtern nur auf einen beſtimmten Punkt des letztern einwirken könnte; ſie fällt aber hinweg, wenn man mit Moſer annimmt, daß unter allen von einem Punkte einer leuchtenden Oberfläche ausfahrenden Lichtſtrahlen derjenige, welcher auf der Oberfläche ſenkrecht ſteht, am meiſten und faſt allein wirkſam iſt. Die Erwärmung des abzubildenden Körpers,

die in hohem Grade angebracht ein Glühen hervorbringt, ſcheint den Zuſtand des Selbſtleuchtens zu ſteigern und auch die Politur des erſtern übt, wie ſich denken läßt und ganz natürlich iſt, einen fördernden Einfluß.

Achtundvierzigſte Vorleſung.

Jede einzelne Lehre der Phyſik hat in Rückſicht auf die Art, wie ſie unſre Aufmerkſamkeit anzieht, oder auf das Intereſſe, welches ſie erregt, etwas Eigenthümliches und muß mit Rückſicht auf dieſe Eigenthümlichkeit ins Auge gefaßt werden. Die mechaniſchen Lehren empfehlen ſich uns nicht bloß durch ihre Anwendbarkeit auf Maſchinen und durch den überall unverkennbaren Nutzen, den ſie gewähren, ſondern auch durch die Sicherheit, mit welcher die Schlüſſe ſich an einander reihen, und durch die über alle Zweifel ſich erhebende Nothwendigkeit in den aus wenigen Grundlagen hervorgehenden Folgerungen. Die Lehre vom Lichte bietet dem Auge ebenſo mannigfaltige Unterhaltung durch ſchöne Farbenerſcheinungen, als dem Verſtande durch die Auflöſung der ſchwierigen Fragen, zu welchen dieſe Erſcheinungen Veranlaſſung geben, dar; faſt auf ähnliche Weiſe kann man von der Electricität ſagen, daß ſie uns bald durch die Neuheit ganz unerwarteter Erſcheinungen überraſcht, bald durch die Gewalt ihrer Wirkungen in Erſtaunen ſetzt, bald in einer Reihe räthſelhafter Phänomene zur Bewunderung des Scharfſinns derer auffordert, die dieſe Phänomene in ein Syſtem zu ordnen und das eine aus dem andern zu erklären mit ſo großem Glücke verſucht haben. Die Lehre von der Wärme kann wohl nicht auf gleiche Weiſe auf den Ruhm Anſpruch machen, ſolche Erſcheinungen darzubieten, die dem Auge durch ihre Schönheit ſich empfehlen, oder die als gänzlich unerwartet unſer Erſtaunen erregen; aber dagegen hat ſie den Vorzug, uns über zahlloſe Naturerſcheinungen Aufſchluß zu geben, uns mit Wirkungen, die wir von Jugend an geſehen haben, ohne ſie uns deutlich zu erklären, vertraut zu machen, und uns zu zeigen, wie grade die Wärme in die ganze Haushaltung der Natur, zwar zuweilen zerſtörend, aber doch vorzugsweiſe belebend und heilſam eingreift. Es iſt wohl einleuchtend, daß mit dieſen Andeutungen nur das ausgeſprochen iſt, was jede Lehre vorzugsweiſe auszeichnet; denn keinem Theile der Phyſik fehlt das ganz, was der eine in vorzüglichem Grade beſitzt, und es iſt bekannt, daß auch die Wärmelehre durch unzählige nützliche Anwendungen dem practiſchen Sinne ſich ſehr empfiehlt, daß auch ſie unerwartete Erſcheinungen kennen lehrt, daß dagegen auch Licht und Electricität als mächtig wirkende Mittel in das ganze Leben der Natur eingreifen.

Wärme und Licht. Wärmeſtoff.

Die Lehre von der Wärme ſchließt ſich nahe an die Lehre vom Lichte an, theils weil Wärme und Licht ſich uns ſo oft vereinigt zeigen, daß wir zuweilen

zweifelhaft werden, ob wir ſie nicht als verſchiedene Wirkungen einer gleichen Urſache anſehen ſollen, theils weil in einigen Fällen die Erſcheinungen beider ganz offenbar ähnlichen Geſetzen folgen. Warum wir gleichwohl Bedenken tragen müſſen, die Wärme gradezu nur als Wirkung derſelben Materie, der wir die Lichterſcheinungen zuſchreiben, zu betrachten, wird ſich bei der Angabe der einzelnen Erſcheinungen ergeben, und es läßt ſich hier wohl nur die kurze Bemerkung voranſtellen, daß auch die Wärme zu der Frage Anlaß gegeben hat, ob ſie durch einen von Körper zu Körper übergehenden ausſtrömenden Stoff hervorgebracht wird, oder ob nur die Undulationen des Aethers unſerm Gefühl in der Wärme, ſo wie dem Auge im Lichte, ſich wahrnehmbar machen. Dieſe Frage zu entſcheiden hat hier, wo die Erſcheinungen ſich nicht mit der Schärfe, welche das Auge erlaubt, verfolgen laſſen, noch mehr Schwierigkeit, und ohne entſcheiden zu wollen, was tiefere Unterſuchungen einſt ergeben mögen, finden wir es doch für die Darlegung der Erſcheinungen am angemeſſenſten, von einem Wärmeſtoffe, ſeinem Uebergange von einem Körper zum andern, ſeiner Verbindung mit den materiellen Theilen der Körper u. ſ. w. zu ſprechen, und dieſes um ſo mehr, da zahlreiche Erſcheinungen ſich ganz ſo, als ob ſie eine quantitative Abmeſſung des Wärmeſtoffs geſtatteten, unſerer Betrachtung darbieten. Dieſen Erſcheinungen folgend ſehen wir es ſo an, als ob ein eigenthümlicher Wärmeſtoff, eine Materie von großer Feinheit und Elaſticität, als Urſache der Wärme und Hitze, wo ſie im Uebermaß vorhanden iſt, zugleich aber als Urſache der Kälte, wo ſie in geringer Menge vorhanden iſt oder wo ein relativer Mangel derſelben ſtatt findet, den Erſcheinungen der Wärme und Kälte zum Grunde liege, und nur in einzelnen Fällen werden wir Gelegenheit haben, dieſe Hypotheſe als nicht ganz genügend tadeln oder unſre Unſicherheit in Beziehung auf die Erklärung der Phänomene nach derſelben geſtehen zu müſſen.

Temperatur. Ungleiche Ausdehnung der Körper bei ungleichen Temperaturen.

Unſre Empfindung lehrt uns zuerſt die Ungleichheit der Temperatur kennen, indem ein Körper ſich wärmer, der andre kälter anfühlt. Wir bemerken eine Ausgleichung dieſer Ungleichheit der Temperatur bei der gegenſeitigen Berührung der Körper, ſo daß der wärmere dem kälteren Wärme abzugeben ſcheint; die in beiden Körpern uns merklich werdende Wärme ſetzt ſich, wie wir uns ausdrücken, ins Gleichgewicht, und die Körper nehmen dadurch eine gleiche Temperatur an. Dieſe Gleichheit und Ungleichheit der fühlbaren Wärme iſt die erſte Erſcheinung, die wir deutlich wahrnehmen, ohne jedoch in unſerm Gefühle Mittel zur genaueren Abmeſſung der Ungleichheit zu finden.

Ein ſolches Mittel bietet ſich uns dagegen in der Ausdehnung der Körper durch die Wärme dar, von welcher man ſich leicht durch folgende Erfahrung überzeugen kann. Man nehme eine Meſſingkugel und bringe in einer Meſſingplatte

ein Loch an, das grade groß genug iſt, um die Kugel durchzulaſſen; dann findet ſich, daß dieſe Kugel erhitzt nicht mehr durch die Oeffnung fällt, ſondern von den Rändern der Platte ſo lange am Hindurchfallen gehindert wird, bis Kugel und Platte wieder gleiche Temperatur erlangt haben. Kennt man aber einmal dieſe Eigenſchaft der Körper, ſo findet man ſie in zahlreichen Fällen wieder, indem man z. B. bemerkt, daß ein Glasſtöpſel ſich leicht in die Oeffnung einer Glasflaſche hineinbringen läßt, wenn die letztere warm, jener dagegen kalt iſt, und daß es dann ſchwer hält, die kalt gewordene Flaſche zu öffnen, weil die enger gewordene Oeffnung den Stöpſel jetzt ſehr feſt umſchließt; ein ſo eingetriebener Stöpſel iſt oft ſehr ſchwer wieder herauszubringen, weil bei neuer Erwärmung der Flaſche nun beide Körper ſich zugleich erwärmen und ausdehnen, ſtatt daß dieß zuerſt nur bei dem einen der Fall war. Ebenſo findet man, daß ein durch die Thür eines erhitzten Ofens hineingebrachtes kaltes Gefäß ſich erhitzt nicht wieder herausbringen läßt, wenn es vorhin nur mit geringem Spielraume hindurch ging. Der glühend um ein Rad geſchlagene eiſerne Reif umſchließt daſſelbe ſehr feſt, wenn das Eiſen kalt geworden iſt, weil er ſich dann wieder zuſammengezogen hat.

Die feſten Körper dehnen ſich weniger aus als die flüſſigen, daher ſieht man feſte Körper bei der Erwärmung in den flüſſigen unterſinken, wenn ſie ſich bei geringerer Wärme nur noch eben ſchwimmend erhielten; denn obgleich ſie zuſammen erwärmt ſich beide ausdehnen, ſo beträgt dieß doch bei dem feſten Körper ſo wenig, daß ſein ſpecifiſches Gewicht ſich nur unbedeutend ändert, während der ſich ſtärker ausdehnende flüſſige Körper in bedeutendem Maße ſpecifiſch leichter wird. Dieſe ſtärkere Ausdehnung macht die flüſſigen Körper mehr geeignet, zur Abmeſſung der Ausdehnung und ſo mittelbar zur Meſſung der Wärme zu dienen, und ſie dienen hiezu um ſo bequemer, da man ihre Ausdehnung durch eine paſſend gewählte Form der Gefäße leichter bemerkbar machen kann. Nehmen wir nämlich an, was die Erfahrung als richtig zeigt, daß Glasgefäße ihren innern Raum bei der Erwärmung nur ſehr wenig vergrößern, ſo wird eine hohle Glaskugel, die mit einer engen Röhre verbunden iſt, der bei niedriger Temperatur ſie ganz erfüllenden Flüſſigkeit nicht mehr Raum genug geben, wenn eine Erwärmung ſtatt findet, ſondern die Flüſſigkeit wird dann in die Röhre hineintreten, und man wird ihre Ausdehnung in der engen Röhre ſehr bequem wahrnehmen können. Queckſilber dehnt ſich von der Kälte des gefrierenden Waſſers bis zu der Temperatur eines heißen Sommertages etwa um $^1/_{200}$ aus, eine Ausdehnung, die in einer 12 Zoll langen cylindriſchen Röhre noch keine Linie betragen würde, die aber höchſt merklich wird, wenn man mit einer Kugel von 200 Cubiklinien Inhalt eine ſo enge Röhre verbunden hat, daß eine Cubiklinie eine Länge von 2 Zoll einnimmt. Da dieſes im Allgemeinen die Einrichtung iſt, die wir unſern Thermometern geben, ſo führt mich dieß ſogleich zu den Ueberlegungen, die der Verfertigung der Thermometer zum Grunde liegen.

Abmeſſung der Wärmeunterſchiede durch Thermometer.

Um eine richtige Abmeſſung der Wärme an die Ausdehnung der Körper anzuknüpfen, iſt zuerſt die Kenntniß beſtimmter, unter beſtimmten Umſtänden immer gleich zu erhaltender Wärmegrade und die Ueberzeugung, daß die Ausdehnung der Körper, auch nach wiederholten Veränderungen, bei gleicher Wärme wieder dieſelbe iſt, nothwendig. Wir erwerben uns dieſe doppelte Kenntniß, wenn wir einen flüſſigen Körper in eine ſolche, mit einer Röhre verbundene Kugel füllen und dieſe in Materien eintauchen, welche wir als gleich warm anzuſehen Grund haben; kömmt da die Flüſſigkeit nach allen Abwechſelungen der Wärme immer wieder auf denſelben Stand, zu gleichem Grade der Ausdehnung zurück, ſo dürfen wir glauben, ſowohl einen immer gleichen Wärmegrad hervorgebracht, als die Unveränderlichkeit der Ausdehnung in Beziehung auf die Wärme beſtätigt zu haben. Dieſes Experiment läßt ſich am beſten in Schnee anſtellen, der bei anfangendem Aufthauen ſchon mit Waſſer durchzogen iſt, und die Erfahrung zeigt, daß, welche Flüſſigkeit auch in jener Kugel und Röhre enthalten iſt und wie oft man auch nach willkührlich veranlaßten Wechſeln von Wärme das Eintauchen in ſolchen Schnee wiederholt, allemal die eingeſchloſſene Flüſſigkeit auf denſelben Stand zurückkommt; was ſich aber hier bei einem ſolchen beſtimmten Wärmegrade zeigt, das nimmt man bei mehreren wahr, ſo daß die Ueberzeugung, gleicher Wärme entſpreche ein immer gleicher Grad von Ausdehnung eines beſtimmten Körpers, als feſt begründet erſcheint.

Die Verfertigung eines Inſtrumentes, das wir einen Wärmemeſſer oder ein Thermometer nennen wollen, iſt uns hierdurch ſehr nahe gelegt, obgleich die Ausführung noch einige Schwierigkeiten darbietet. Es ſollte nämlich — dieß iſt eine der vorzüglichſten Schwierigkeiten — zur Füllung der Thermometerröhre eine ſolche flüſſige Materie genommen werden, die bei gleichem Unterſchiede der Wärme ſich um gleich viel ausdehnt, und es ſollten zwei ziemlich weit von einander entfernte Temperaturen als feſte Temperaturen zur Beſtimmung einer Scale der Wärme dienen. Obgleich es uns nun hier, im erſten Anfange der Wärmelehre, noch nicht möglich iſt, die Frage zu beantworten, wie man gleiche Unterſchiede der Wärme beſtimme und wie man die Eigenſchaft irgend einer Flüſſigkeit, ſich bei gleichem Wärmeunterſchiede um gleich viel auszudehnen, kennen lerne, ſo darf ich es doch wohl ſchon jetzt als eine ſich ſpäter beſtätigende Erfahrung ausſprechen, daß reines Queckſilber für mittlere Temperaturen dieſe Eigenſchaft beinahe genau beſitzt. Daß dieſes dagegen nicht eine allgemeine Eigenſchaft aller Flüſſigkeiten iſt, davon kann man ſich leicht überzeugen, wenn man Waſſer, Weingeiſt, Queckſilber und andre Flüſſigkeiten auf gleiche Weiſe in ſolche, mit einer Kugel verbundene Röhren, die wir Thermometerröhren nennen wollen, füllt.

Bringt man nämlich dieſe gefüllten Röhren zuerſt in gefrierendes Waſſer und bemerkt die Punkte, wo das Ende der in die Röhre hinaufreichenden

Säule jeder Flüſſigkeit ſteht; läßt man dann das Waſſer, worin ſie bleiben, allmälig ſich erwärmen, und bezeichnet beim Kochen wieder die Punkte, wo die Flüſſigkeiten in den Röhren ſich endigen, ſo ſollte man glauben, beim allmäligen Erkalten würden die ſich wieder zuſammenziehenden Flüſſigkeiten gleichmäßig ſinken und gleichzeitig den halben Raum, drei Viertel des Raumes und ſo ferner zurück durchlaufen; aber das iſt nicht der Fall, ſondern das Waſſerthermometer hat jenen Zwiſchenraum ſchon halb durchlaufen, wenn das Queckſilber erſt wenig über ein Viertel zurückgelegt hat.

Um alſo ein Thermometer zu erhalten, füllen wir eine Kugel A, die mit einer engen und ziemlich langen Röhre BC (XI. Fig. 1) verbunden (an dieſelbe angeblaſen) iſt, mit ganz reinem, auch von Luft und Feuchtigkeit befreitem Queckſilber etwa ſo weit an, daß auch im gefrierenden Waſſer die Röhre noch bis D gefüllt bleibt. Nachdem das Thermometer in Schnee, der im Aufthauen begriffen iſt, ſo lange, daß es die Temperatur dieſes Schnees angenommen hat, eingetaucht geweſen iſt, bezeichnet man den Punkt D, wo ſich die Queckſilberoberfläche befindet, und hat ſo den einen feſten Punkt der Thermometerſcale. Die Beſtimmung des andern Punktes erhält man durch das Kochen des Waſſers; aber dieſes Kochen tritt nicht immer bei gleicher Wärme ein, ſondern bei geringerer Wärme, wenn das Barometer niedriger ſteht, alſo der Druck der Luft geringer iſt; man muß daher das Kochen dann beobachten, wenn das Barometer irgend eine beſtimmte Höhe, 28 pariſ. Zoll zum Beiſpiel, hat. Wenn dieſe Vorſicht beobachtet iſt und man das Thermometer ſo geſtellt hat, daß es die wahre Kochhitze des Waſſers annimmt, ſo hat man einen zweiten feſten Punkt der Scale, der bei dem Kochen des Waſſers unter 28 Zoll Druck der Luft ſich immer wieder ebenſo findet. Das Thermometer wird, nachdem man alle Luft herausgetrieben, oben zugeſchmolzen; dieß iſt nothwendig, damit Staub und Feuchtigkeit nicht eindringen, auch kein Queckſilber verloren gehen kann. Den zwiſchen Gefrierkälte und Siedehitze des Waſſers gefundenen Zwiſchenraum, den ſogenannten Fundamentalabſtand des Thermometers, theilt man nun in 80 oder in 100 gleiche Theile, je nachdem man die Scale des Reaumür'ſchen oder die des Centeſimalthermometers auftragen will, und ſetzt 0° neben dem Punkte des thauenden Schnees, ferner 80° auf jener Scale, 100° auf dieſer neben dem richtig beſtimmten Kochpunkte des Waſſers.

Damit aber die ſo verfertigten Thermometer correſpondirend werden, muß die Röhre überall gleich weit oder — wie man es ausdrückt — gut calibrirt ſeyn. Um ſich zu überzeugen, ob ſie dieſe Eigenſchaft hat, bringt man, ehe ſie gefüllt wird, nur einen mäßigen Tropfen Queckſilber in die Röhre und mißt genau, ob er in allen Gegenden derſelben eine gleiche Länge einnimmt; iſt das ſtreng der Fall, ſo iſt die Röhre brauchbar, im entgegengeſetzten Falle muß man eine andre wählen.

In dieſen Regeln ſind die wichtigſten Bedingungen zu Verfertigung übereinſtimmender Thermometer gegeben, indeß hat man, um völlige Gleichheit zu erhalten, noch auf manche Nebenumſtände zu ſehn, die ich kurz erwähnen will.

Bei dem Gefrierpunkte findet, wenn ſchon ſehr viel Waſſer mit dem Schnee vermiſcht iſt oder wenn ſich nur thauendes Eis im Waſſer befindet, nicht mehr eine ganz ſtrenge Gleichheit der Temperatur in allen Waſſerſchichten ſtatt, indeß iſt hier der Unterſchied gering. Die Bemerkung, daß ein Thermometer im allerſtrengſten Sinne immer wieder auf den Gefrierpunkt zurückkomme, wenn man nach verſchiedenen Erwärmungen und Abkühlungen es in eben ſolchen zergehenden Schnee bringt, leidet inſofern eine Beſchränkung, als erſtlich die Veränderungen, welche das Glas bei der Erwärmung leidet, nicht ſogleich bei der Abkühlung wieder vorübergegangen ſind, ſondern der dieſer Abkühlung entſprechende Zuſtand erſt langſamer eintritt, und zweitens bei längerem Gebrauche eines Thermometers der Druck der Luft eine kleine dauernde Veränderung des Inhalts der Kugel hervorzubringen ſcheint. Aus dem erſten Grunde giebt man die Vorſchrift, den Eispunkt nicht eher zu beſtimmen, als etwa vier Monate nach dem Füllen des Thermometers.

Die Beſtimmung des Kochpunktes fordert vorzügliche Sorgfalt. Nicht allein iſt er bei ungleichem Barometerſtande ſo ſehr verſchieden, daß eine Linie Aenderung des Barometers die Wärme des Kochens um $^{88}/_{1000}$ eines Centeſimalgrades oder um $^{7}/_{100}$ eines Reaumür'ſchen Grades ändert, ſondern die Aufwallungen des Waſſers bringen auch Wechſel der bald zu hohen, bald zu niedrigen Temperatur hervor. Dieſe Wechſel ſind in den nahe über der Oberfläche des Waſſers befindlichen Dämpfen nicht merklich, man muß daher in einem Gefäße, welches zwar den Zutritt der Luft nicht hindert, aber doch Tiefe genug zwiſchen der Waſſeroberfläche und der dem Eindringen der Luft frei gelaſſenen Oeffnung hat, die Thermometerkugel in den Dampf nahe über dem kochenden Waſſer bringen, um die Kochhitze zu beſtimmen. Die meiſten Verfertiger von Thermometern wählen zur Beſtimmung des Kochpunktes einen Barometerſtand von 0,76 Meter = 336,9 par. Linien oder auch von 28 pariſ. Zoll = 336 Lin. (in England von 30 engl. Zoll = 337 par. Lin.). Wie viel dann die wahre Kochwärme bei andern, nicht viel verſchiedenen Barometerſtänden beträgt, läßt ſich aus der obigen Angabe, daß die Aenderung bei jeder Linie $^{88}/_{1000}$° Cent. ($^{7}/_{100}$° R.) beträgt, überſehen; bei ſehr vermindertem Barometerſtande iſt aber die Aenderung größer. Bei uns ſteigt das Barometer ſelbſt an den Ufern des Meeres ſelten auf 28$^{3}/_{4}$ Zoll und fällt ſelten unter 26$^{1}/_{4}$ Zoll; in jenem Falle würde das Kochen, wenn der Kochpunkt des Thermometers bei 28 Zoll Barometerſtand beſtimmt iſt, erſt bei 100,8° Cent. (80,6° R.), im letztern Falle ſchon bei 98,°1 Cent. (78,5°R.) eintreten. In Quito, wo das Barometer 19$^{1}/_{2}$ Zoll hoch ſteht, kocht das Waſſer ſchon, wenn es erſt die Wärme von 90° C. (72° R.) erreicht hat, auf dem Chimboraſſo unter 12$^{1}/_{2}$ Zoll Luftdruck ſchon bei 79° C. (63° R.). Unter der Luftpumpe, wo der Druck nur wenige Linien beträgt, kömmt das Waſſer ſchon bei einer Temperatur von 25° Cent. (20° R.) leicht zum Kochen. Endlich muß ich noch einen Umſtand erwähnen, der das Aufkochen des Waſſers früher herbeiführt, nämlich Ungleichheiten in der Oberfläche der Gefäße. So

wie Körper mit ſpitzigen Ecken die Entwickelung der Luft bei lufthaltenden Flüſſigkeiten befördern, ſo kömmt auch in Gefäßen, deren Oberfläche nicht ganz glatt iſt oder in welchen ſich fremde Körper befinden, das Waſſer eher zum kochenden Aufwallen, als in ganz glatten Gefäßen.

Hierin iſt faſt alles enthalten, was die Verfertigung der Thermometer betrifft; ich muß nur noch beifügen, daß man die unter dem Nullpunkt herabgehenden Grade negative oder Kältegrade (durch das Zeichen — angedeutet) nennt, die von Null zu größerer Wärme fortgehenden aber poſitive oder Wärmegrade (die mit + bezeichnet werden, wenn dieſe Unterſcheidung nöthig iſt); beide werden ſo weit fortgeſetzt aufgetragen, als die Zwecke des einzelnen Inſtrumentes es fordern, oder höchſtens ſo weit als die beim Queckſilber ſtatt findenden Grenzen es geſtatten. Da das Queckſilber bei 356° Cent. (285° R.) kocht und bei — 40° Cent. (— 32° R.) gefriert, ſo ſind dieſes die äußerſten Grenzen der Brauchbarkeit eines Queckſilberthermometers.

Man hat ehemals noch mehrere verſchiedene Thermometerſcalen angewandt, jetzt iſt aber außer der erwähnten nur noch die Fahrenheit'ſche hie und da (namentlich ganz allgemein in England und Nordamerica) im Gebrauch, welche den Nullpunkt, einer künſtlichen Kälte entſprechend, tiefer ſetzt;[1] nach dieſer Scale ſteht bei dem Aufthauen des Schnees + 32°, bei dem Kochen des Waſſers 212°, o daß der Zwiſchenraum zwiſchen dem Gefrierpunkte und dem Kochpunkte des Waſſers in 180 Grade getheilt iſt (XI. Fig. 2).

Genauere Beſtimmung der Ausdehnung tropfbar flüſſiger und feſter Körper.

Da wir uns jetzt im Beſitze eines Inſtruments befinden, welches uns in den Stand ſetzt, gewiſſe Wärmegrade verſtändlich zu bezeichnen, ſo können wir das genaue Maaß der Ausdehnung einzelner Körper mit mehr Sicherheit angeben.

Um zuerſt für tropfbar flüſſige Körper die Ausdehnung zwiſchen beſtimmten Wärmegraden anzugeben, bedient man ſich am beſten der Abwägungen. Man beſtimmt zum Beiſpiel das Gewicht einer leeren, aus Kugel und enger Röhre beſtehenden Thermometerröhre ganz genau und füllt ſie dann in der Temperatur des ſchmelzenden Schnees bis oben an mit ganz reinem, auch von Luft befreitem Queckſilber. Wenn dieß mit aller Sorgfalt geſchehen iſt, beſtimmt man durch neues Abwägen und bei der Gefrierkälte das Gewicht des die Kugel und Röhre füllenden Queckſilbers, um die bei 0° darin enthaltene Menge abzumeſſen. Man erwärmt jetzt die gefüllte Röhre und läßt das ſich ausdehnende Queckſilber ausfließen, bis man die Wärme des kochenden Waſſers erreicht hat; alsdann zeigt eine abermalige Abwägung, wie viel Queckſilber ausgefloſſen iſt, und man erhält daher das Gewichtsverhältniß des bei jener und bei dieſer Temperatur gleichen Raum ausfüllenden Queckſilbers. Nach

[1] Hier ſteht nämlich bei dem Punkte, welchen das in Schnee und Salz geſetzte Thermometer erreicht, Null.

den beſten Beobachtungen nehmen 982 Gran Queckſilber bei der Wärme des kochenden Waſſers ſo viel Raum ein, als 1000 Gran bei der Kälte des gefrierenden Waſſers oder des thauenden Schnees, und die Ausdehnung derſelben Gewichtsmaſſe beträgt alſo $^{18}/_{1000}$. Das Waſſer dehnt ſich ſtärker aus, nämlich um $^{42}/_{1000}$.

Dieſe Beſtimmung der Ausdehnung des Queckſilbers oder Waſſers würde genau ſeyn, wenn das Glas, welches zum Gefäße dient, ſich nicht ausdehnte; aber dieſes Gefäß wird durch die Wärme ebenfalls größer, und jener Verſuch giebt alſo die ausfließende Menge Queckſilber nicht ganz ſo groß, als es für ein ganz unveränderliches Gefäß der Fall ſeyn würde. Um dieſem Fehler ganz auszuweichen, haben Dulong und Petit bei ihren Verſuchen über die Ausdehnung des Queckſilbers durch die Wärme eine ganz andre Einrichtung angewandt. Da zwei verſchiedene Flüſſigkeiten, die in einer zweiſchenkligen Röhre mit verticalen Schenkeln einander im Gleichgewichte halten, durch ihre ungleichen Höhen uns ihr ſpecifiſches Gewicht kennen lehren, ſo bedienten ſie ſich einer ſolchen Röhre, deren verticale Schenkel durch eine hinreichend lange horizontale Röhre verbunden waren. In dieſer Röhre wurde das Queckſilber im einen Schenkel immer bis auf den Gefrierpunkt abgekühlt erhalten, indem man die Röhre hier mit Eis umgab, das nur eine mäßige Oeffnung, um die Oberfläche des Queckſilbers zu beobachten, offen ließ; im andern Schenkel wurde das Queckſilber erhitzt, indem dieſer Theil der Röhre ſeiner ganzen Länge nach in einem kupfernen, mit Oel gefüllten Gefäße ſich befand, das man bis zu einem ſehr hohen Wärmegrade erhitzte. Hier ſtanden alſo kaltes und warmes Queckſilber, wie zwei ungleiche Flüſſigkeiten, einander gegenüber, und die genaue Abmeſſung der Höhen beider Säulen gab das Verhältniß ihrer Dichtigkeiten, alſo ihrer Ausdehnung. Die Genauigkeit der Verſuche ſcheint einen ſehr hohen Grad erreicht zu haben, und die Beſtimmung, daß die Ausdehnung des Queckſilbers von 0° bis 100° Cent. für jeden Grad $^{1}/_{5550}$, von 100° bis 200° für jeden Grad $^{1}/_{5425}$, von 200° bis 300° für jeden Grad $^{1}/_{5300}$ beträgt, iſt die genaueſte, die wir bis jetzt beſitzen. Vergleicht man hiermit das, was man nach der vorigen Methode findet, ſo erhält man den aus der Ausdehnung des Glaſes hervorgehenden Fehler und kann dann die Glasröhren, mit Rückſicht auf dieſen Fehler, für andre Flüſſigkeiten gebrauchen.

Aber wenn man auch dieſe Aenderung des Volumens bei zwei beſtimmten Wärmegraden ganz vollkommen kennt, ſo läßt ſich doch für die den zwiſchenliegenden Wärmegraden entſprechenden Ausdehnungen noch keine ſichere Beſtimmung geben, indem manche flüſſige Körper ſich ſehr ungleichmäßig ausdehnen. Das reine Waſſer beobachtet unter allen bekannten Flüſſigkeiten den ſeltſamſten Gang in der Ausdehnung, indem es ſich bei einer nur wenig die Thauwärme übertreffenden Wärme zuſammenzieht, ungefähr bei + 4° Cent. oder + 3° R. ſeine größte Dichtigkeit hat, und dann erſt bei noch mehr wachſender Wärme ſich langſam, nach und nach aber bei gleicher Zunahme der Wärme immer mehr ausdehnt. Da wir die gleichen Grade des Queckſilberthermometers,

wie Sie bald durch bedeutende Gründe unterſtützt finden werden, beinahe genau als Grade wirklich gleicher Wärmeunterſchiede anſehen können, ſo läßt ſich die Ausdehnung des Waſſers, ſo wie ſie beſtimmten Wärmeunterſchieden entſpricht, aus folgender Zuſammenſtellung mit dem Queckſilber überſehen. Es iſt dabei angenommen, daß man auch für Waſſer den Raum zwiſchen der dem gefrierenden und der dem kochenden Waſſer entſprechenden Ausdehnung in 100 gleiche Theile theile; dann würden das Waſſerthermometer und das Queckſilberthermometer bei gleichen Temperaturen folgende Punkte der Scale erreichen:

Waſſer	Queckſilber.	Waſſer	Queckſilber.
0°	0°	+ 9°,7	+ 30°
— 0°,26	+ 3,7	+ 17°,5	+ 40°
0°	7¾°	+ 38°,0	+ 60°
+ 0°,39	+ 10°	+ 64°,8	+ 80°
+ 3°,9	+ 20°	+ 100°	+ 100°.

Und wie hier die Ausdehnung des Waſſers gegen den Kochpunkt zu ſchnell fortſchreitet, ſo iſt es auch bei andern tropfbaren Flüſſigkeiten der Fall, ſo daß diejenigen Körper ſich zu Thermometern am brauchbarſten zeigen, die wir ziemlich weit von ihrer Kochhitze und von ihrer Gefrierkälte beobachten, woraus denn der Vorzug des Queckſilbers, ſo lange wir es nur in mittlern Temperaturen beobachten, ſich erklärt. Selbſt bei hohen Temperaturen weichen die Angaben des Queckſilberthermometers noch nicht ſo ſehr von der Wahrheit ab, da 314 Gr. nach der gleichförmigen Scale 300 Gr. wahrer Wärme entſprechen.

Die Eigenſchaft, ſich noch vor dem Gefrieren oder Erſtarren auszudehnen, beſitzt das Waſſer in vorzüglichem Grade, indeß ſcheint ſie doch auch dem Waſſer nicht ganz allein eigenthümlich zu ſeyn. Das Queckſilber zieht ſich bei ſeinem Erſtarren unregelmäßig und ſehr ſtark zuſammen und hat dadurch ehemals die Meinung veranlaßt, als ob man viel größere Kältegrade, als es wirklich der Fall war, beobachtet habe. Bei Kältegraden, die bis gegen 35 oder 40° Cent. unter Null gehen, pflegt man ſich eines Thermometers zu bedienen, das mit reinem Alkohol (Weingeiſt) gefüllt und durch die Vergleichung mit einem Queckſilberthermometer graduirt iſt; denn da der Alkohol, ſelbſt bei viel größerer Kälte, nicht gefriert, ſo kann man ſeine Veränderungen in Hinſicht der Ausdehnung auch noch unter dem Gefrierpunkte des Queckſilbers als gleichmäßig fortdauernd anſehen und die Gradtheilung mit ziemlicher Sicherheit auch da fortſetzen, wo das Queckſilber uns verläßt. Nach Muncke ſind jedoch Schwefelkohlenſtoff und rectificirtes Steinöl dem Weingeiſt noch vorzuziehen, von beiden aber hat wieder der erſtere den Vorzug, weil er immer von gleicher Beſchaffenheit erhalten werden kann und ſich ſtärker ausdehnt. In frühern Zeiten (bis zu Anfang des 18ten Jahrhunderts) bediente man ſich ausſchließlich des Weingeiſtthermometers, doch hat Queckſilber für mittlere Temperaturen unbedingt den Vorzug, theils aus dem oben angegebenen Grunde, theils weil es ſich ganz rein und ſtets von gleicher Beſchaffenheit darſtellen läßt, theils endlich weil es weit empfindlicher iſt. — Für die ſehr hohen

Wärmegrade, wo das Queckſilber dem Kochen nahe iſt, finden wir in andern Flüſſigkeiten keine Aushülfe.

Die Abmeſſung der Ausdehnung feſter Körper hat zwar in der wirklichen Ausführung bedeutende Schwierigkeiten, aber die Angabe der Mittel zur Beſtimmung dieſer Ausdehnung iſt ſehr einfach. Man bringt den Stab, deſſen Ausdehnung gemeſſen werden ſoll, am liebſten ſo an, daß er mit einer Flüſſigkeit übergoſſen wird, welcher man die beſtimmte Wärme ertheilt, damit ſo der ganze Stab möglichſt gleichförmig durchwärmt werde; man läßt ferner das eine Ende des Stabes ſich an einen unveränderlich feſten Widerſtandspunkt ſtützen, das andre Ende aber gegen den kurzen Arm eines leicht beweglichen Hebels drücken, damit, indem dieſer kurze Arm bei der Verlängerung des Stabes ſehr wenig fortgeſchoben wird, der längere Arm als Zeiger einen bedeutendern Weg durchlaufe (**XI. Fig.** 5). Durch dieſe Mittel iſt man im Stand, Ausdehnungen, die auch nur Zehntauſendtel der ganzen Länge betragen, an dem langen Hebelarme noch deutlich zu erkennen, und dieſe Methode ließe nichts zu wünſchen übrig, wenn es nur nicht ſo ſchwierig wäre, die völlig unveränderte, bei allen Wärmegraden gleich bleibende Lage des einen Endpunktes und der Unterſtützung des Hebels im ſtrengſten Sinne zu erhalten. Indeß hat man durch Befeſtigungen, die mit dem erwärmten Körper in möglichſt geringer Verbindung ſtehen und ſelbſt wenig durch die Wärme verändert werden, den Zweck ſo nahe erreicht, daß die erhaltenen Beſtimmungen für ſehr genau gelten können. Solchen Verſuchen, vorzüglich von La Place und Lavoiſier, von Smeaton, Hällſtröm und andern, verdanken wir die Kenntniß, daß zwiſchen der Gefrierkälte und Kochhitze des Waſſers ſich Eiſen ungefähr um 11 bis 12, Stahl nach ſeiner verſchiedenen Beſchaffenheit um 11 bis 14, Zinn um 19 bis 26, Blei um 29, Zink um 29 bis 31, Kupfer um 17 bis 18, Meſſing um 18 bis 19, Gold um 12 bis 15, Silber um 19 bis 21, Platin um 9 bis 10, Holz um 3 bis 5, Granit um 8 bis 9, Glas um 8 bis 10 Zehntauſendtel ſeiner ganzen Länge ausdehnt. Auch dieſe Ausdehnung iſt nicht ganz gleichförmig, ſondern ein Thermometer von Eiſen, deſſen bis 100 Grad Cent. richtige Grade man gleichmäßig fortführte, würde ſchon 373° da zeigen, wo eigentlich 300 ſtehen ſollte; beim Kupfer würden 329 Gr., beim Platin 312 Gr., beim Glaſe 353 Gr. jenen 300 Gr. wahrer Wärme entſprechen. Platin und Glas dehnen ſich bei niedrigen Temperaturen gleich aus, bei höhern aber iſt die Ausdehnung des Glaſes ſtärker, wie Dulong und Petit gezeigt haben.

Obgleich aber dieſe Verſuche uns über die Ausdehnung der Körper in den Temperaturen, in denen wir uns ihrer am meiſten bedienen, ſehr genügende Belehrung verſchaffen, ſo würde es doch in Hinſicht auf unſre Kenntniß von der innern Beſchaffenheit der Körper angenehm ſeyn, ſie noch vollſtändiger durchzuführen. Welche Verſchiedenheit in dem Geſetze der Ausdehnung nahe bei dem Gefrierpunkte oder bei dem Uebergange in den feſten Zuſtand eintritt, ſehen wir am Waſſer, welches ſich bei ſchon geringer Wärme, wenn die Wärme abnimmt,

nur wenig mehr zuſammenzieht, bei einer ſchon dem Gefrierpunkte nahen Abkühlung ſich ein wenig ausdehnt, im Gefrieren ſelbſt aber ſich ſo ſtark ausdehnt, daß es oft genug die Gefäße zerſprengt. Nachdem es in Eis verwandelt iſt, geht die Abnahme des Volumens bei ſtärkerer Kälte wieder regelmäßig fort, und zwar ungefähr ſo wie bei dem auf 25° Cent. erwärmten Waſſer. Dieſe Erfahrung an einem ſo bekannten Körper veranlaßte Erman, auch über das Verhalten des Phosphors und einer leicht flüſſigen Metallmiſchung, weil dieſe ſchon in mäßiger Wärme ſchmelzen, Verſuche anzuſtellen. Er ſtellte dieſe Verſuche ſo an, daß er durch Abwägung des Körpers in einer Flüſſigkeit die Ausdehnung genau beſtimmte, und dieſe Methode verdient gewiß da, wo man durch eine ganze Reihe von Temperaturen die Ausdehnung zu beſtimmen wünſcht, den Vorzug. Die Metallmiſchung aus 2 Theilen Wismuth, 1 Theil Blei und 1 Theil Zinn (das ſogenannte Roſe'ſche Metall) ſchmilzt ſchon bei 94° Cent. (75° R.) und wurde in Oel bis auf 160° R. erhitzt. Bei den Abwägungen ſowohl des feſten als des flüſſigen, immer unter Oel eingetaucht bleibenden, Metalls fand ſich, daß daſſelbe von 0° bis 35° R. ſich ausdehnt, dann bis 55° R. ſich bedeutend zuſammenzieht, von 55° bis 75° R. (wo es ſchmilzt) ſich wieder ausdehnt und nach dem Schmelzen in einem nicht ganz ſo ſchnellen Maaße ſich auszudehnen fortfährt. Bei 75° und 35° Wärme iſt das Volumen des Metalles gleich. Der Phosphor (welcher in Waſſer gewogen wurde) dehnt ſich ununterbrochen, aber im Augenblicke des Schmelzens plötzlich ſehr ſtark aus. — Dieſe beiden Erfahrungen zeigen, daß wir wohl noch manche Merkwürdigkeit in dem Verhalten feſter Körper wahrnehmen könnten, wenn wir ohne große Schwierigkeit in der Nähe ihres Schmelzpunktes ihre Ausdehnung durch die Wärme unterſuchen könnten. Im Allgemeinen ſcheint bei gleichen Wärmeunterſchieden die Ausdehnung für höhere Wärmegrade beträchtlicher zu werden.

Diejenigen feſten Körper, welche, ganz gleich in allen ihren Theilen, keine cryſtalliniſche Bildung zeigen, dehnen ſich nach allen Richtungen gleich aus, und die lineare Ausdehnung giebt daher ſogleich auch die körperliche Ausdehnung, die man kennen muß, um zum Beiſpiel zu wiſſen, wie viel die durch Wärme vergrößerte Glaskugel mehr als vorher faßt. Eine leichte Rechnung zeigt, daß die körperliche Ausdehnung faſt genau das Dreifache der linearen iſt, d. h. wenn ein Körper ſich um $^1/_{1000}$ ſeiner Länge ausdehnt, ſo nimmt er einen um $^3/_{1000}$ größern Raum ein. Aber Cryſtalle dehnen ſich, wie Mitſcherlich gefunden hat, nicht immer nach allen Seiten gleich aus, ſondern die das Licht doppelt brechenden zeigen darin eine merkwürdige Verſchiedenheit. Der Kalkſpath namentlich dehnt ſich bei Erwärmung nach der Richtung der Hauptaxe aus, während ſich in allen auf dieſe Axe ſenkrechten Richtungen ſeine Abmeſſungen verkleinern, und bei allen Cryſtallen, die eine doppelte Strahlenbrechung haben, ſteht die Ausdehnung in einem beſtimmten Verhältniß zu den optiſchen Axen.

Ausdehnung elaſtiſcher Flüſſigkeiten. Luftthermometer. Differentialthermometer.

Die elaſtiſchen Flüſſigkeiten ſind unter allen Körpern am meiſten der Ausdehnung durch die Wärme unterworfen. Dieſes zeigt ſchon der ſehr bekannte Verſuch, wo man eine nur wenig Luft in den Falten enthaltende Blaſe erwärmt und ſie dann ſich aufblähen ſieht. Die ſehr ſtarke Ausdehnung der Luft bemerkt man am deutlichſten, wenn man in eine Glasröhre, an deren einem Ende eine hohle Kugel iſt, einen Tropfen irgend einer Flüſſigkeit ſo bringt, daß dadurch die enge Röhre geſchloſſen iſt; nähert man dann der Kugel die warme Hand, ſo reicht die von ihr ausgehende geringe Wärme hin, um in der Kugel die Luft ſo auszudehnen, daß der Tropfen in der Röhre ſchnell fortgetrieben wird, ein Umſtand, den man beim Calibriren der Thermometerröhren benutzt.

Genaue Verſuche über die Ausdehnung nicht bloß der atmoſphäriſchen Luft, ſondern auch künſtlicher Luftarten haben vorzüglich Dalton und Gay-Luſſac angeſtellt. Sie bedienten ſich dazu theils genau graduirter Röhren, wo nämlich durch Füllung mit Queckſilber und Abwägung desſelben die Abtheilungen der Röhre in beſtimmtem Verhältniß zu dem ganzen Volumen des innern Raumes aufgetragen waren, theils machten ſie den Verſuch ſo, daß der in Queckſilber eingetauchte Hals eines mit erwärmter Luft erfüllten Gefäßes bei dem Abkühlen der Luft etwas Queckſilber aufnahm, deſſen Menge man dann durch Abwägen beſtimmte. Bei der erſtern Einrichtung kann man, wenn die Luft bei der Nullkälte einen gewiſſen Raum füllt, ſogleich ſehn, um wie viel ſie ſich bei der Erwärmung zu beſtimmten, nach der Scale des Thermometers angegebenen Graden ausgedehnt hat; damit aber die Ausdehnung durch keinen Gegendruck gehindert werde, muß der Theil der Röhre, in welchem das durch einen Tropfen Queckſilber geſperrte Ende der Luftmaſſe ſich befindet, horizontal liegen. Bedient man ſich eines Glasgefäßes mit engem Halſe, ſo bringt bei der Abkühlung der Luft allmälig mehr Queckſilber in das Gefäß, und die bei beſtimmtem Grade der Abkühlung durch vorſichtige Schließung und Abwägung des Gefäßes gefundene Queckſilbermenge giebt an, um wie viel der Raum, den die Luft noch einnahm, ſich vermindert hat. Dabei iſt aber nöthig, das Gefäß immer ſo zu ſtellen, daß die Queckſilberfläche innen und außen gleich hoch iſt, damit nicht die Ungleichheit des Druckes die Ausdehnung der Luft anders beſtimme, als es der Temperatur gemäß iſt. Die zu unterſuchende Luft muß von Feuchtigkeit frei ſeyn, man läßt ſie daher durch ungelöſchten oder durch ſalzſauren Kalk gehn, weil dieſe Körper alle Feuchtigkeit begierig aufnehmen.

Dieſe Verſuche haben zu der Ueberzeugung geführt, daß alle trockene Luftarten ſich gleich ſtark ausdehnen, nämlich vom Gefrierpunkte bis zum Kochpunkte des Waſſers um $^{375}/_{1000}$ oder $^{3}/_{8}$ desjenigen Volumens, welches ſie bei 0° Wärme hatten. [1] Zugleich ergeben die Verſuche, daß dieſe Ausdehnung

[1] Der ſchwediſche Phyſiker Rudberg hat bei einer neuen Reihe ſehr genauer Verſuche etwas

gleichförmig fortgeht bei gleicher Zunahme der Wärme; und da kein Grund iſt zu zweifeln, daß dieſe Gleichförmigkeit auch bei denjenigen Wärmegraden fortdauert, wo die tropfbaren Flüſſigkeiten und ſelbſt das Queckſilber unregelmäßig werden, ſo kann man ſich des Luftthermometers bedienen, um in ſo niedrigen Temperaturen, wo das Queckſilber gefriert, die Wärmegrade zu beſtimmen, ja man könnte dieß auch für ſehr hohe Temperaturen thun, wo indeß die Schwierigkeit viel größer iſt.

Die Luftthermometer ſind die erſten Thermometer geweſen, deren Drebbel, ihr Erfinder, ſich ſchon im Anfange des 17ten Jahrhunderts bediente; aber die von ihm gewählte Einrichtung war, weil die Angaben zugleich vom Drucke der Luft abhingen, nicht angemeſſen. Für den gewöhnlichen Gebrauch, wo ſehr kleine Aenderungen der Wärme anzumerken unnöthig und ſogar ſtörend iſt, verdienen ohne Zweifel die Queckſilberthermometer den Vorzug; aber da, wo man ſehr geringe Unterſchiede der Wärme anzugeben nöthig findet, gewährt das Luftthermometer große Vortheile. Um ſo kleine Wärmeunterſchiede wahrzunehmen, hat zuerſt G. G. Schmidt, nachher Rumford ein Inſtrument in Vorſchlag gebracht, das der Erſtere Microcalorimeter, der Letztere Thermoſcop, Leslie aber paſſender ein Differentialthermometer genannt hat. Dieſes Inſtrument beſteht aus zwei Glaskugeln A, B (XI. Fig. 3), die durch die gekrümmte Röhre ACDB verbunden ſind. In dem untern Theile der letztern befindet ſich ein Weingeiſt- oder Queckſilbertropfen ab, der die in den beiden Kugeln enthaltene Luft von einander trennt. So lange nun die Luft in beiden Kugeln gleich erwärmt bleibt, nimmt der Tropfen bei horizontaler Lage der Röhre CD immer dieſelbe Stelle ein, die dem Gleichgewichte gemäß iſt; dieſe Lage bezeichnet man mit 0 und bringt an der Röhre von da an eine Theilung an. Erhält nun die Kugel B nur die mindeſte Erwärmung, ſo daß die Luft in B mehr als in A erwärmt wird, ſo drängt die Luft den Tropfen nach C hin, und die Scale zeigt, wie viel dieſe Ausdehnung der Luft beträgt. Hat man alſo einmal durch Verſuche ausgemittelt, wie viel Theile der Scale einer Differenz von 1^0, von 2^0 u. ſ. w. entſprechen, ſo hat man hier ein ſehr empfindliches Thermometer für die Differenzen der Wärme. Dieſe Einrichtung wäre ein wirkliches Luftthermometer, das aber darum nicht ganz bequem ſeyn würde, weil die in A verdichtete Luft der in B erwärmten und zugleich ausgedehnten Luft entgegen wirken würde. Man läßt daher den Raum in A, B (XI. Fig. 4) nicht mit Luft gefüllt, ſondern entfernt vor dem Zuſchmelzen der Kugeln die Luft, nachdem Schwefeläther hineingebracht iſt, der ungefähr den Raum fg füllt. Wenn dann die Kugeln und die Röhre vollkommen geſchloſſen worden ſind, ſo füllt ſich der Raum A ſowohl als der Raum gB mit Aetherdampf, der in Beziehung auf die Ausdehnung durch die Wärme ſich ebenſo wie die Luft verhält. Eine Abkühlung der Kugel B bringt nun eine Verminderung der Elaſticität des Aetherdampfes hervor und

weniger gefunden, nur $^{365}/_{1000}$ oder beinahe $^{4}/_{11}$, was noch richtiger als jene Beſtimmung Gay-Luſſac's ſeyn dürfte. (M.)

die Flüſſigkeit zieht ſich nach h hinauf; dabei aber gewährt der Aetherdampf den Vortheil, dieſem Steigen nicht zu widerſtehen, da er ſich bei der Abkühlung niederſchlägt, wie in der Folge gezeigt wird. Dieß iſt das unter dem Namen Differentialthermometer bekannte Inſtrument, deſſen Empfindlichkeit ſehr groß iſt. Seit dem Bekanntwerden der Thermoſäulen oder thermoelectriſchen Batterien, welche alle früher bekannten Apparate an Empfindlichkeit und Genauigkeit weit übertreffen, deren Beſchreibung aber erſt weit ſpäter gegeben werden kann, ſind die Differentialthermometer ganz in den Hintergrund getreten.

Pyrometer zu Abmeſſung hoher Wärmegrade.

Um hohe Wärmegrade abzumeſſen, hat man die Beobachtung der Ausdehnung feſter Körper angemeſſener gefunden; aber die **Pyrometer**, die dieſes leiſten ſollen, laſſen noch viel zu wünſchen übrig. Ihre einfachſte Einrichtung iſt die, daß auf einer Grundlage, die der ungleichen Erwärmung nicht ausgeſetzt iſt, ſich in A (XI. Fig. 5) ein feſter Stützpunkt für den als Wärmemeſſer dienenden Stab ABDF befindet, der auf BC, DE aufliegt, ohne von dieſen Stützen feſtgehalten zu werden. Drängt ſich nun das Ende F dieſes Stabes gegen den um den feſten Punkt G beweglichen Winkelhebel FGH, ſo beſchreibt der lange Zeiger GH bei H einen bedeutenden Bogen, wenn auch F nur ſehr wenig vorwärts rückt, und man kann die Anzeigen des Pyrometers deutlich genug auf dem Gradbogen bei H wahrnehmen.

Dieſe Einrichtung ſetzt voraus, daß die feſte Unterlage IK ſich gar nicht ausdehne; aber bei hohen Hitzegraden iſt es unmöglich, zu verhindern, daß auch die Unterlagen an der Ausdehnung Antheil nehmen, und man hat daher dann die Verbindung zweier Körper, die ſich ungleich ausdehnen, ſo angewandt, daß die Differenz ihrer Ausdehnung abgemeſſen wird. Von dieſer Art iſt das von **Brongniart** für die Porcellanöfen vorgeſchlagene Pyrometer, wo in einer am untern Ende geſchloſſenen Röhre von Reißblei ein Platinſtäbchen frei auf dem Boden ſteht, welches mit ſeinem obern Ende den kurzen Hebelarm eines Zeigers fortſchiebt, deſſen Ruhepunkt mit der Röhre verbunden iſt. Hier iſt der Unterſchied der Ausdehnung beider Körper erheblich genug, um die verlangte Wirkung zu zeigen, und da es hier nicht ſo ſehr um eine nach Graden fortgehende Abmeſſung der Wärme zu thun iſt, indem man nur beſtimmen will, ob der zu gewiſſen Zwecken nöthige Hitzegrad erreicht iſt, ſo läßt ſich ein ſolches Pyrometer, vorausgeſetzt, daß beide Körper ihre Fähigkeit für die Ausdehnung durch die Wärme ungeändert behalten, gar wohl gebrauchen. **Daniell's** (zweites) Pyrometer hat eine ähnliche Einrichtung, und wenn man den Fortgang der Ausdehnung der Körper als der Zunahme der Wärme immer gleichmäßig entſprechend anſieht, ſo erhält man durch daſſelbe Angaben für die Schmelzhitzen der Metalle und ähnliche Beſtimmungen. Neuerdings hat **Neumann** ein ſehr genaues und bequemes Platinpyrometer vorgeſchlagen.

Eine andere Einrichtung der Pyrometer hängt davon ab, daß zwei feſt verbundene Platten verſchiedener Metalle wegen der ungleichen Ausdehnung

eine Krümmung annehmen. Wären (XI. Fig. 6) die beiden Platten AB von Silber, CD von Platin durch feſte Verbindungen E, F gehindert, ſich an einander fortzuſchieben, ſo würden, wegen der großen Gewalt, mit welcher die Wärme die Körper nöthigt, die ihrer Natur gemäße Ausdehnung anzunehmen, die durchgehenden Schrauben E, F eine ſchiefe Stellung, wie e, f, annehmen, damit das Silber cd ſeiner mehr als doppelt ſo ſtarken Ausdehnung nachgebe; ſind alſo beide Platten in mehrern Punkten feſt verbunden oder auch überall an einander gelöthet, ſo entſteht eine Krümmung, die man ebenfalls durch einen längern Zeiger kenntlicher machen kann. Der Hauptſache nach iſt Breguet's Pyrometer oder Metallthermometer ebenſo eingerichtet. Hier ſind drei Blätter, nämlich Platin, welches ſich am ſchwächſten ausdehnt, Gold, das ſich 1½mal ſo ſtark, und Silber, das ſich reichlich doppelt ſo ſtark als Platin ausdehnt, auf einander gelöthet, ſo daß ſie, mit der breiten Fläche vereinigt, nun einen dickeren Streifen bilden. Dieſer Streifen (XI. Fig. 7) iſt ſchraubenförmig um einen Cylinder gewunden, und indem ſein oberes Ende feſtgehalten wird, ſein unteres aber mit einem um die Axe jenes Cylinders beweglichen Zeiger verbunden iſt, führt es bei der Ausdehnung oder Zuſammenziehung dieſen Zeiger im Kreiſe herum. Hierher gehört auch das nach einigen Angaben von Jörgenſen in Kopenhagen, nach andern von Holzmann in Wien erfundene, neuerlich von Winnerl verbeſſerte Taſchenthermometer, welches die Form einer Taſchenuhr hat, auf deren Zifferblatte die Grade aufgetragen ſind; dieſe werden durch einen Zeiger angegeben, der durch die abwechſelnden Erweiterungen und Verengerungen eines Bügels aus zuſammengelötheten Blechen von Stahl und Meſſing bewegt wird, die ſich in der Wärme ungleich ausdehnen.

Allen dieſen Pyrometern fehlt aber noch ein recht ſicheres Maaß. Sie zeigen eine Zunahme oder Abnahme der Wärme, eine Wiederkehr gleicher Wärme u. ſ. w. an; aber ob die Wärmeunterſchiede doppelt, dreifach u. ſ. w. ſind und ob gleiche Grade des Pyrometers gleichen Unterſchieden wahrer Wärme entſprechen, darüber bleiben wir weit mehr in Ungewißheit, als in den mittlern Temperaturen bei dem Queckſilberthermometer und Luftthermometer. Ueber die Mittel, uns in Hinſicht hierauf genauer zu belehren, werde ich in der Folge noch gelegentlich etwas erwähnen.

Eines der älteſten Pyrometer, das von Wedgwood angegebene, beruht nicht auf der Ausdehnung der Körper, ſondern auf der Eigenſchaft des gebrannten Thons, ſich in der Hitze zuſammenzuziehen, iſt aber ſchon längſt als unzuverläſſig erkannt worden und daher nicht mehr in Gebrauch. Es beſteht aus einer Anzahl kleiner Thoncylinder, welche zwiſchen zwei convergirende Leiſten geſchoben werden und deſto weiter hineingeſchoben werden können, je kleiner ſie geworden ſind. Die Leiſten ſind der Länge nach in 240 gleiche Theile getheilt, welche die Pyrometergrade vorſtellen. Will man mit dieſem Inſtrumente eine Temperatur meſſen, ſo ſetzt man derſelben einen Thoncylinder aus, läßt ihn dann erkalten, wobei er ſich nicht wieder ausdehnt, und ſchiebt ihn, ſoweit es angeht, zwiſchen die Leiſten der Scale.

Viel Anſprechendes hat der Vorſchlag Prinſep's, ſich zum Meſſen hoher Hitzgrade der Schmelzpunkte der Metallgemiſche zu bedienen. Die Schmelzpunkte des Goldes und Silbers liegen weit aus einander, zwiſchen ihnen die der Miſchungen aus beiden Metallen, und zwar dem einen oder dem andern näher, je nachdem das eine oder das andre Metall vorherrſcht. Daſſelbe gilt von Gold und Platin und den Legirungen beider Metalle. Prinſep nahm 10 Grade zwiſchen den Schmelzpunkten des reinen Goldes und Silbers, 100 Grade zwiſchen denen des Goldes und Platins an und ſetzte, um die zwiſchenliegenden Grade zu erhalten, dem Silber ſucceſſiv 10 Procent Gold, dem Golde ſucceſſiv 1 Procent Platin zu. Jede Hitze wird hierbei durch denjenigen Grad gemeſſen, dem die bei derſelben ſchmelzende, am meiſten ſtrengflüſſige Legirung entſpricht. Freilich könnte man auf dieſe Weiſe nur relative Beſtimmungen erhalten.

Ein Luftpyrometer hat ſchon Mill angegeben und Peterſen verbeſſert. Das neuerlich von Pouillet angegebene iſt von complicirter Einrichtung und mühſam zu handhaben, aber hinſichtlich ſeiner Beſtimmungen ſehr genau.

Thermometer für die größte und kleinſte Wärme.

Um aber jetzt alles zuſammen zu faſſen, was die Thermometer betrifft, muß ich doch noch ein Wort über diejenigen Thermometer ſagen, welche die größte und kleinſte Wärme in Abweſenheit des Beobachters angeben (Maximum- und Minimumthermometer, auch ſelbſtregiſtrirende Thermometer genannt). Unter den verſchiedenen hiezu in Vorſchlag gebrachten Einrichtungen ſcheint folgende am meiſten Beifall gefunden zu haben. Wenn ein mit Weingeiſt gefülltes Thermometer mit horizontalliegender Röhre AB angewandt wird (XI. Fig. 8), ſo folgt in einer ſehr engen Röhre der Weingeiſt ebenſo den Geſetzen der Ausdehnung durch die Wärme, wie in einer verticalen Röhre, weil die Adhäſion ihn hindert, eine nach der Länge der Röhre ausgedehnte Oberfläche anzunehmen, und er ſich daher in einer auf die Länge der Röhre ſenkrechten Oberfläche wie cd endigt. Von einem Queckſilberthermometer mit enger Röhre gilt daſſelbe. Nun iſt die Adhäſion des Weingeiſts an ein darin befindliches kleines Glasſtäbchen ſo bedeutend, daß jener daſſelbe nicht trocken liegend zurückläßt, wenn die Zuſammenziehung durch die Kälte den Weingeiſt von dem Orte zurückzieht, wo das Glasſtückchen liegt; das Glasſtäbchen geht daher mit der Oberfläche des Weingeiſtes nach der Richtung gegen A hin mit zurück und bezeichnet immerfort die Stelle der Oberfläche, ſo lange die Abkühlung zunimmt. Fängt dagegen der Weingeiſt wieder an ſich auszudehnen, ſo bleibt das auf allen Seiten von der Flüſſigkeit umgebene Glasſtückchen liegen, weil die von allen Seiten gleiche Adhäſion gar keine Kraft mehr ausübt, um die Schwere und Reibung des an der Röhre anliegenden Glasſtäbchens zu überwinden, und der Beobachter findet (durch das am einen Ende des etwa ½ Zoll langen Glasſtäbchens angebrachte ſchwarze Knöpfchen) die geringſte Wärme angezeigt, ohne zu der Zeit, da ſie ſtatt fand, ſelbſt gegenwärtig geweſen zu ſeyn. Ein ähnliches Mittel giebt es für die größte Wärme, indem im Queckſilberthermometer,

deſſen Röhre horizontal liegt, ein Stahlſtäbchen oder ein andrer Körper vor der ſich ausdehnenden Queckſilbermaſſe her fortgedrängt wird, aber an der Stelle, wo dieſe wieder anfängt ſich zurückzuziehen, liegen bleibt, alſo den Stand des Queckſilbers für die größte Wärme bezeichnet. Uebrigens darf man bei dieſen beiden Thermometern nie verſäumen, durch eine kleine Erſchütterung das fortzuſchiebende Körperchen bis an die Oberfläche des Weingeiſtes im einen und des Queckſilbers im andern Falle zu bringen, damit jenes bei geringerer, dieſes bei größerer Wärme ſogleich ſeinen Ort verändere. Aus zwei ſolchen horizontal auf einer Scale befeſtigten Thermometern beſteht Rutherford's Thermometrograph, das älteſte aller hierher gehörigen Inſtrumente, aber noch immer am meiſten in Gebrauch, ausgenommen in England, wo es durch das von Six vorgeſchlagene und nach ihm benannte Sixthermometer verdrängt worden iſt. Daſſelbe iſt ein Weingeiſtthermometer, der am einen Ende ſtatt einer Kugel einen langen und weiten Cylinder hat, um welchen das Thermometerrohr zweimal gebogen iſt. Der Weingeiſtfaden iſt durch einen Queckſilberfaden unterbrochen, welcher von jenem bald vorwärts geſchoben, bald zurückgezogen wird und bei ſeiner Bewegung nach der einen oder andern Seite zwei kleine Stifte von Stahl oder Eiſen mit federnden Glasfädchen vor ſich her ſchiebt, die beim Zurückgehn des Queckſilberfadens liegen bleiben. Das Erd- oder Geothermometer von Magnus iſt nur ein Maximumthermometer.

Von den mannigfaltigen Verſchiedenheiten, die außerdem bei den Thermometern, nach Verſchiedenheit ihrer Beſtimmung, ſtatt finden, brauche ich nur wenige Worte zu ſagen. Man hat zuweilen den Zweck, auch das Queckſilberthermometer ſo empfindlich als möglich zu erhalten, und giebt ihm dann eine kleine Kugel oder wählt noch lieber eine flache, breite Form für das das Queckſilber enthaltende Gefäß, damit die ganze Queckſilbermaſſe recht ſchnell die Temperatur des umgebenden Mittels annehme; die Röhre muß dann auch recht eng ſeyn. In andern Fällen iſt dagegen eine große Trägheit des Thermometers erwünſcht; zum Beiſpiel, wenn man die Temperatur am Boden des Meeres beſtimmen will, wo geraume Zeit während des Heraufziehens vergeht, iſt es vortheilhaft, eine recht große Maſſe Queckſilber in der Kugel zu haben, damit, nachdem das Thermometer lange genug auf dem Boden des Meeres zugebracht hat, um die dortige Temperatur anzunehmen, es nun nicht ſo ſchnell die Wärme oder Kälte der höhern Schichten annehme, ſondern mehr Zeit, als zum Heraufziehen erforderlich iſt, nöthig habe, um erheblich durchgewärmt oder durchgekältet zu werden. Ja wo die Zeit des Heraufziehens ſehr groß iſt, muß man noch andre Mittel, um die einmal erlangte Wärme lange ungeändert zu erhalten, anbringen.

Beſondre Arten von Thermometern ſind noch: 1) Das Thermobarometer, von Jaubert oder Bellani erfunden, urſprünglich ein Heberbarometer, beſtehend aus zwei weitern, durch eine engere Röhre verbundenen Schenkeln, das aber als Thermometer gebraucht werden kann, wenn man es umkehrt und an ſeinem untern Ende aufhängt, in welchem Falle der obere Schenkel des Barometers

das Gefäß für das Thermometer abgiebt. 2) Das thermomagnetiſche Thermometer, welches ſeine Erklärung erſt ſpäter finden kann, wenn vom Thermomagnetismus die Rede ſeyn wird.

Neunundvierzigſte Vorleſung.

Die neulich angeſtellten Betrachtungen hatten faſt allein den Zweck, uns die Mittel, Grade der Wärme mit möglichſter Genauigkeit kennen zu lernen, zu verſchaffen, und von dieſer Seite iſt die Ausdehnung der Körper durch die Wärme uns vorzüglich wichtig; aber auch zur Erklärung mancher Naturerſcheinungen und zu manchen practiſchen Anwendungen führt uns die Kenntniß jener Wirkung der Wärme.

Erſcheinungen, wobei die Ausdehnung durch die Wärme merklich iſt.

Es iſt eine gewöhnliche Erfahrung, daß ein Glas zerſpringt, wenn man heißes Waſſer hineingießt, und daß dieß bei einem recht kalten Glaſe am leichteſten erfolgt; dieß iſt der Erfolg der Ausdehnung des Glaſes, deſſen Theile nämlich an der plötzlich erhitzten innern Seite ſich aus einander drängen, und weil die noch nicht erwärmten Theile ſich noch nicht ausdehnen, ebenſo wie beim Beugen des Glaſes, ein Zerſpringen bewirken. Wäre das Glas nicht ſo ſehr ſpröde, ſo würde es durch jene Ausdehnung an der innern Seite ebenſo eine Beugung ſeiner Wände erleiden, wie wir es neulich an dem vereinigten Platin- und Silberſtreifen ſahen; aber die geringſte Beugung zerbricht das Glas, und da die Wärme ſich nicht ſo ſchnell der äußern Seite mittheilt, ſo bewirkt dieſe Dehnung an einer Seite ſein Zerſpringen. Dünne Gläſer ſind dieſem weniger ausgeſetzt, weil ſie ſchnell genug in allen ihren Theilen erhitzt werden. Die Erſcheinung erfolgt ebenſo, wenn man ein kaltes Glas auf den heißen Ofen ſetzt, wird aber da durch das Unterlegen eines ſich langſam erwärmenden Körpers, z. B. Papier, gehindert, weil dieſer keine ſo plötzliche und ungleichförmige Erhitzung zuläßt.

Auf eben dem Umſtande beruht die Kunſt, einen Riß im Glaſe nach willkührlicher Richtung fortzuführen. Dieſe Kunſt beſteht darin, daß man einen glühenden, ſpitzigen Eiſenſtab von dem Ende des ſchon vorhandenen Riſſes auf der Oberfläche des Glaſes dahin, wohin der Riß gehen ſoll, fortführt. Die plötzliche Ausdehnung an dieſer Stelle bringt nämlich das Glas zum Springen, und da man ſich ganz nahe an dem Ende des Riſſes, wo der Zuſammenhang ſchon aufgehoben iſt, befindet, ſo nimmt der neue Riß die Richtung dahin, wo am wenigſten Zuſammenhang zu überwinden iſt. Es gehört indeß einige Vorſicht und Gewandtheit dazu, den Riß ganz nach Willkühr zu leiten, und Ungleichheiten im Glaſe ſelbſt bringen doch noch oft Krümmungen hervor.

Eine ähnliche Urſache trennt bei ſtarker Abkühlung oft Körper, die ſich in höherer Temperatur recht gut vereinigt hatten. Sind nämlich zwei ungleiche Körper in wärmerem Zuſtande an einander befeſtigt worden, ſo ziehen beide ſich beim Erkalten in einen engern Raum zuſammen, aber der eine mehr als der andre, und dieſes hat die Folge, daß die vereinigt geweſenen Theile nicht bei einander bleiben können, ihren Zuſammenhang verlieren und aus einander fallen. Es iſt bekannt, daß Siegellack an einer kalten Metallplatte faſt gar nicht haftet; hat man aber die Metallplatte auf einen mäßigen Grad erwärmt, ſo hält es feſt, weil das warme Metall und das warme Siegellack ſich nun zugleich zuſammenziehen und weniger geneigt ſind ſich zu trennen; aber bei ſtarken Abkühlungen trennen ſie ſich doch. Aus eben dem Grunde bleibt Platindraht in Glas eingeſchmelzt feſter als Eiſen- oder Silberdraht. Die beiden letztern Metalle dehnen ſich nämlich weit mehr als Glas aus und ziehen ſich daher, indem ſie ſich nach dem Schmelzen des Glaſes abkühlen, auch mehr als das Glas zuſammen, je zwei Metalltheilchen rücken näher an einander als die zwei beim Schmelzen an dieſelben befeſtigten Glastheilchen, weshalb die Verbindung getrennt wird; Platin und Glas hingegen dehnen ſich in mäßigen Temperaturen faſt genau gleich aus und bleiben daher vereinigt.

Das Abſpringen der dünnen Schichten feinern Holzes an unſern Mobilien rührt zwar meiſtens von der durch ungleiche Feuchtigkeit und Austrocknung entſtehenden verſchiedenen Ausdehnung her; aber die Wärme kann daſſelbe bewirken. Das Krummziehen der Hölzer hat ebenfalls dieſe zweierlei Urſachen, nämlich theils ein Längerwerden der dem Feuer zugewandten Seite durch die Wärme, theils ein Eintrocknen dieſer wärmeren Seite; der Erfolg kann daher von entgegengeſetzter Art ſeyn.

Daß wir an die ungleiche Ausdehnung der Körper bei manchen Verſuchen denken müſſen, wenn wir genaue Folgerungen ziehen wollen, habe ich ſchon früher zuweilen erwähnt. Das Aräometer, deſſen wir uns zu Beſtimmung des ſpeciſiſchen Gewichtes gewiſſer Flüſſigkeiten bedienen, ſinkt in eine erwärmte Flüſſigkeit tiefer ein und muß, um den richtigen Werth für dieſe Flüſſigkeit zu beſtimmen, nur bei der Temperatur, für welche es graduirt iſt, gebraucht werden. Selbſt die Abwägungen eines feſten Körpers in irgend einer Flüſſigkeit ſind, ohne dieſe Rückſicht auf die Wärme, von geringem Werthe, weil ſie uns das Gewicht der einen gleichen Raum einnehmenden Flüſſigkeit in Vergleichung gegen das Gewicht des feſten Körpers für den gerade ſtatt findenden Zuſtand kennen lehren, aber das Verhältniß dieſer Gewichte ſich bei ungleicher Wärme ändert. Ebenſo muß man bei genauen Meſſungen mit Maaßſtäben daran denken, daß das, was im ſtrengſten Sinne ein Fuß, eine Toiſe, ein Meter heißt, nicht bei jeder Wärme die Länge des Maaßſtabes iſt, der dieſer Länge gleich angegeben wird. Will man das ganz genaue Maaß eines eiſernen Maaßſtabes auf einen andern eiſernen Maaßſtab übertragen und iſt man ſicher, genau gleiches Eiſen in beiden zu beſitzen, ſo könnte man, vorausgeſetzt, daß beide genau gleich warm ſind, bei jeder Temperatur die Uebertragung machen,

weil das in größerer Wärme zu große Maaß auch auf dem neuen Maaßſtabe in der Kälte ſich ebenſo verkleinert. Ueberträgt man aber die Länge von einem eiſernen Grundmaaße auf einen Meſſingſtab, ſo muß man beide in diejenige Temperatur bringen, wo der alte Maaßſtab ſeine wahre Länge hat, weil Meſſing ſich anderthalbmal ſo viel als Eiſen ausdehnt und daher eine bei der Sonnenhitze der Meſſingtoiſe gleiche Eiſentoiſe bei der Froſtkälte nicht mehr mit ihr übereinſtimmt. Aus dieſem Grunde werden bei ſehr genauen Meſſungen langer Linien die Wärmegrade zur Zeit der Meſſung bemerkt; denn obgleich es uns zu gewöhnlichem Gebrauche ziemlich unbedeutend ſcheint, daß bei einer Sommerwärme von 30^{0} Cent. ein Meſſingſtab von 10 Fuß Länge um $^{57}/_{10000}$ eines Fußes oder $^{4}/_{5}$ einer Linie länger iſt, als bei der Froſtkälte, ſo macht dieß doch, wenn man eine Länge von 10000 Fuß ausmißt, ſchon $5^{3}/_{4}$ Fuß aus, und jeder einzelne Grad Wärme, um welchen man in der Angabe der Wärme fehlt, würde auf 1 Fuß nur 19 Milliontel eines Fußes, aber auf 100000 Fuß beinahe 2 Fuß Fehler hervorbringen. Meſſungen, die ſich mit einer vollkommenen Genauigkeit über mehrere Breitengrade auf der Erde erſtrecken ſollen, fordern in der Meſſung der Standlinie die größte Genauigkeit, weil der hier begangene Fehler ſich in gleichem Verhältniſſe auf alle größern Linien überträgt.

Nach den franzöſiſchen Maaßbeſtimmungen ſollte 1 Meter der zehnmillionſte Theil des Erdquadranten, das iſt, eines vom Pole bis zum Aequator gemeſſenen Bogens eines Erdmeridians auf der Meeresfläche, ſeyn; aber der Meſſingſtab, der in 0^{0} Wärme dieſer Forderung entſpräche, würde ihr bei 20^{0} Wärme nicht mehr entſprechen, und ſo wird es verſtändlich, warum man ſagt, der Metermaaßſtab halte bei der Kälte des gefrierenden Waſſers 443,296 par. Linien desjenigen Pariſer Normalmaaßes, welches 2 Toiſen = 12 Fuß = 244 Zoll = 1728 Lin. bei $16^{3}/_{4}{}^{0}$ Cent. Wärme beträgt.

Die Rückſicht, die man bei barometriſchen Höhenmeſſungen ſowohl auf die Ausdehnung des Queckſilbers als auf die Ausdehnung der Luft durch die Wärme nehmen muß, iſt ſchon bei den Regeln für die Höhenmeſſung ſelbſt betrachtet worden. Auch bei dem Gebrauche feiner Winkelinſtrumente muß man darauf ſehen, daß keine Erwärmung, die leicht ein Verändern der Geſtalt des Inſtruments zur Folge hat, ſtatt finde, und die Aſtronomen ſind bei der Genauigkeit, die ihre Beobachtungen fordern, hierauf zu achten genöthiget. Ja ſelbſt die Wände von Gebäuden ſind einer Krümmung unterworfen, wenn ſie an einer Seite erwärmt werden, und dieß iſt ein Grund, warum Inſtrumente auf hohen Thürmen nicht als ganz feſtſtehend anzuſehen und Sternwarten auf ſolchen für Anſtellung recht feiner Beobachtungen nicht geeignet ſind.

Compenſationspendel.

Unter den Veränderungen, welche die Wärme bei unſern Inſtrumenten hervorbringt, iſt diejenige vorzüglich wichtig, welche die Pendel und die Spiralfedern, als Regulatoren unſerer Uhren, erleiden. Der Secundenzeiger der

Pendeluhr rückt immer um 60 Secunden fort, wenn das Pendel 60 Schläge vollendet, aber dieſe angeblichen Secunden ſind nicht Secunden mehr, wenn das Pendel ſeine Länge ändert; da nun unſre Pendeluhren von der härteſten Winterkälte bis zur größten Sommerwärme einer Aenderung von mehr als 60 Cent. Gr. unterworfen ſind, ſo ändert ein Secundenpendel mit Stahlſtange ſeine Länge um etwa $^7/_{10000}$ der ganzen Länge, das iſt, um faſt $^3/_{10}$ Linie, und hiedurch wird die Anzahl der Schwingungen in einem Tage um 30 vermindert, wenn die Wärme um ſo viel zunimmt. [1] Dieſe Aenderungen der Schwingungszeit müßten bei jeder Beobachtung berückſichtiget werden, und dieß würde, wegen des unaufhörlichen Wechſels der Temperatur, für ganze Tage und längere Zeiten unausführbar, dadurch aber die bei aſtronomiſchen Beobachtungen erforderliche Genauigkeit unmöglich ſeyn. Es ward daher, als man genau gehende Uhren zu machen anfing, ein Bedürfniß, Pendel zu haben, die dieſen Veränderungen nicht unterworfen oder bei denen ſie compenſirt wären. Man hat hiezu vorzüglich zwei Einrichtungen in Anwendung gebracht, unter denen das roſtförmige Pendel bis jetzt am meiſten in Gebrauch iſt.

Wenn man eine Verbindung von Stahlſtangen AB, CD (XI. Fig. 9) der Wärme ausſetzt, ſo verlängern ſich dieſe bei jedem Wärmegrade (der Centeſ. Scale) ungefähr um 12 Milliontel ihrer ganzen Länge. Sind auf den unten mit dieſen feſt verbundenen Stücken BE, DH zwei Zinkſtangen FE, GH feſt eingeſetzt, ſo geht, wofern AC feſt gehalten wird, mit BE, HD auch das untere Ende der Zinkſtangen herab; aber da Zink ſich gleichfalls ausdehnt, ſo geht das obere Ende FG, ſich von EH entfernend, wieder hinauf, und beide Ausdehnungen müſſen ſich zum Theil oder ganz ausgleichen. Da Zink ſich bei 1 Grad Wärmeänderung um 30 Milliontel, Stahl aber nur um 12 Milliontel ausdehnt, ſo läßt ſich folgende Anordnung des roſtförmigen Pendels leicht überſehen. Man nimmt die Stahlſtangen AB, CD 30 Zoll lang, die Zinkſtangen FE, GH 24 Zoll lang und befeſtigt an FG die 30 Zoll lange Stahlſtange IK, an welcher ſich die ſehr ſchwere Linſe K des Pendels befindet; wird nun dieſe ganze Verbindung in L aufgehängt, ſo wird die ganze Entfernung vom Aufhängepunkte bis zur Linſe bei jeder Wärme ungeändert bleiben. Durch die Ausdehnung der Stangen AB, CD ſinkt nämlich bei 1 Grad Wärmezunahme BD um 30mal 12 Milliontel = 360 Milliontel Zoll herab; die Stangen EF, HG aber verlängern ſich gleichzeitig um 24mal 30 Milliontel = 720 Milliontel Zoll, weil ſie 24 Zoll lang ſind und Zink ſich um 30 Milliontel ausdehnt, alſo rückt das Verbindungsſtück FG um 360 Milliontel Zoll hinauf, und grade um ſo viel verlängert ſich die Stange IK hinabwärts, ſo daß K in gleicher Entfernung von AC oder beinahe in gleicher Entfernung vom Aufhängepunkte L bleibt. Wäre alſo die Maſſe der Linſe ſo groß, daß man auf die Stangen nicht zu ſehen brauchte, ſondern die ganze Maſſe als im Mittelpunkte der Kugel vereinigt anſehen könnte, ſo hätte man auf dieſe Art ein von AC an 36 Zoll langes unveränderliches Pendel. — Da

[1] Bei Meſſing ſogar um 45 Schwingungen.

der Mittelpunkt des Schwunges nicht genau im Mittelpunkte der Kugel liegt, ſo wird man freilich die Maaße der Stangen etwas weniges ändern müſſen, aber der wichtigſte Theil der Compenſation iſt durch die obigen Verhältniſſe beſtimmt. [1]

Eine andre, ſchon etwas früher angegebene Art der Compenſation beſteht darin, daß man als ſchwerſten Theil des Pendels ein Gefäß mit Queckſilber anbringt und die Einrichtung ſo macht, daß deſſen Schwerpunkt immer gleich entfernt vom Aufhängepunkte bleibt. Die Hauptanordnung iſt daher die, daß (XI. Fig. 10) an der Pendelſtange AB ein Gefäß BC mit Queckſilber befeſtigt iſt; dieſes Gefäß darf nicht ganz gefüllt ſeyn, damit das Queckſilber nicht gehindert ſey, ſich auszudehnen. Beſteht nun die ganze Verbindung ABC aus Stahl und iſt auf dem Boden C ein mit Queckſilber gefülltes Gefäß befeſtigt, ſo erhält man, wenn AC 38 Zoll lang, das Queckſilber aber 5 Zoll hoch iſt, folgende Rechnung. AC dehnt ſich bei jedem Grade um 12 Milliontel aus, alſo ſinkt C um 38 mal 12 Milliontel = 456 Milliontel Zoll herab; das Queckſilber dehnt ſich bei einem Wärmegrade um 180 Milliontel aus, alſo rückt der $2\frac{1}{2}$ Zoll über C liegende Schwerpunkt um $2\frac{1}{2} \cdot 180$ Milliontel = 450 Milliontel Zoll hinauf und die vorige Senkung iſt durch dieſe Hebung beinahe compenſirt, ſo daß es leicht wäre, durch eine kleine Aenderung des Verhältniſſes der Längen, die ohnehin bei den ſchärfer beſtimmten Ausdehnungen noch etwas anders ausfallen, die Compenſation ganz ſtreng zu erreichen.

Eine ähnliche Compenſation, wie das Pendel, fordert die Unruhe der Federuhren, und dieſe iſt um ſo wichtiger, da gerade die Seeuhren, die Chronometer, auf deren gleichförmigen Gang man bei den längſten Reiſen ſich verlaſſen können muß, nicht durch Pendel, deren Bewegung auf Schiffen ohne alle Regelmäßigkeit ſeyn würde, regulirt werden können. Die Spiralfeder einer Uhr verlängert ſich bei der Wärme und macht dann, wenn ſie keine andre Maſſe mit fortzubewegen hat, langſamere Schwingungen; da ſie aber die Maſſe der Unruhe, die als ein kleines Schwungrad anzuſehen iſt, mit in Schwung ſetzen muß, ſo kann man hier die Compenſation dadurch bewirken, daß man mit der minder kräftig wirkenden erwärmten Feder eine dem Mittelpunkte näher gerückte, alſo leichter in Bewegung zu ſetzende Maſſe in Verbindung bringt, oder daß man einen Theil der Maſſe der Unruhe ſo anbringt, daß er bei der Erwärmung näher an die Axe rückt. Dieß bewirkt man auf folgende Weiſe. Sie wiſſen, daß eine aus Meſſing und Stahl zuſammengeſetzte gekrümmte Platte ad (XI. Fig. 11), deren innerer Theil cd aus Stahl, der äußere ab aus Meſſing beſteht, ſich bei zunehmender Wärme immer ſtärker krümmt, weil das Meſſing ſich mehr als der Stahl verlängert; tragen nun

[1] Der Engländer Harriſon ſchlug zuerſt 1726 roſtförmige Pendel vor, die aus einer Verbindung von drei hinabgehenden eiſernen und zwei hinaufgehenden meſſingnen Stangen beſtanden. In den letzten beiden Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts fing man in England an, ſtatt des Meſſings Zink zu nehmen, deſſen größere Ausdehnung 1754 bekannt geworden war. Benzenberg ſchlug 1802 vor, ſtatt des Zinkes Blei zu nehmen, deſſen Ausdehnung der des Zinkes faſt gleich iſt, indeſſen iſt Zink ſeines geringern Gewichtes und ſeiner größern Härte wegen vorzuziehen. (M.)

zwei ſolche Streifen die ſchweren Maſſen M, M und ſind mit der Axe B der Unruhe ſo verbunden, daß dieſe Maſſen alle Schwingungen mit machen müſſen, ſo werden bei gleicher Kraft der Feder die Schwingungen ſchneller, wenn die Maſſen M näher gegen die Axe B rücken. Hier, wo dieſes Näherrücken durch die Erwärmung, durch die zunehmende Krümmung der Streifen ad bewirkt wird und wo die zugleich mit erwärmte und verlängerte Spiralfeder an Kraft verliert, läßt ſich beides ſo gegen einander ausgleichen, daß die Schwingungen der Unruhe gleich ſchnell bleiben, und Verſuche müſſen über die dazu nöthigen genauen Abmeſſungen entſcheiden.

Aehnliche Compenſationen könnte man auch in andern Fällen, wo eine unveränderliche Länge erhalten werden ſoll, anwenden.

Unregelmäßigkeit in der Ausdehnung feſter Körper.

Ich muß in Beziehung auf die Ausdehnung feſter Körper noch einen merkwürdigen Umſtand erwähnen. Einige Beobachter haben gefunden, daß bei ſtetiger Zunahme oder Abnahme der Temperatur ſich das Volumen feſter Körper nicht immer ebenſo ſtetig, ſondern in kleinen Unterbrechungen oder ſtoßweiſe ändert. Eine ſehr bekannte Erfahrung ſcheint mir eben dahin zu gehören. Wenn wir eine ſehr erhitzte Ofenthür öffnen und ſie dadurch einer ſchnellen Abkühlung ausſetzen, ſo giebt ſie ſehr oft ein beinahe in beſtimmtem Tacte ſich wiederholendes Geräuſch, welches man durch einen leichten Stoß aufhören machen kann; dieſes ſind ohne Zweifel die ſtoßweiſe erfolgenden Aenderungen des Volumens, die bei der Schnelligkeit der Abkühlung ſtark genug ſind, um ein Geräuſch zu bewirken; bringt man durch einen Stoß die ganze Maſſe in zitternde Bewegung, ſo erleichtert man den Theilchen des feſten Körpers die Rückkehr zu dem Ausdehnungszuſtande, welcher der Wärme gemäß iſt, und dieſer wird für die nächſten Augenblicke nach jenem Stoße in einem mehr ſtetigen Uebergange, nicht mehr ſtoßweiſe, erreicht. Dieſe Erſcheinung iſt übrigens nicht beſonders auffallend, da man ſich leicht vorſtellen kann, daß die Ungleichheit in der Structur feſter Körper Hinderniſſe darbieten mag, die ſich der in jedem Augenblicke angemeſſenen Herſtellung der Ausdehnung widerſetzen, und die erſt dann plötzlich überwunden werden, wenn bei fortgehender Abkühlung die zuſammenziehende Kraft einen gewiſſen Grad erreicht hat. Hieher gehört auch die Erſcheinung, daß auf einander gelegte Metalle von verſchiedenen Temperaturen tönen, wenn nämlich die Oberfläche des untern rauh, die des obern glatt iſt; dieſes Tönen aber iſt gleichfalls die Folge von Stößen. Auch das Geräuſch, das man ſo oft bemerkt, wenn irdene Gefäße, z. B. Teller, mit einer warmen Flüſſigkeit angefüllt ſind, beruht ohne Zweifel auf derſelben Urſache.

Wärme des Waſſers in tiefen Seen und im Meere.

Ich gehe zu einigen in die phyſiſche Geographie und in die Meteorologie gehörigen Erſcheinungen über, die von der ungleichen Ausdehnung flüſſiger Körper bei verſchiedener Wärme abhängen.

Die Temperatur des Waſſers auf dem Boden tiefer Gewäſſer wird faſt immer niedrig gefunden, z. B. in den Schweizerſeen ſo groß wie die der größten Dichtigkeit des Waſſers entſprechende Wärme, und in den Tiefen der Meere auch bedeutend niedriger als an der Oberfläche. Dieſes läßt ſich ziemlich leicht erklären, weil die Sonnenſtrahlen mit ihrer Erwärmung gewiß immer nur ſehr wenig tief in das Waſſer eindringen und daher nur die obern Theile die höhere Temperatur der Luft im Sommer unmittelbar erhalten. Da nun dieſe durch die Erwärmung leichter werdenden Theilchen kein Beſtreben haben zu ſinken, ſondern fortwährend ihre Stelle an der Oberfläche behalten; ſo findet kein erhebliches Durchwärmen des Waſſers in der Tiefe ſtatt, nämlich nicht weiter hinab, als Wellenbewegung oder Strömung es bewirken. Die Abkühlung dagegen, welche in den kälteren Jahreszeiten, zumal bei Froſt und anhaltend kaltem Wetter, eintritt, verbreitet ſich ſogleich hinabwärts, weil die obern Theilchen, ſobald ſie ſchwerer werden als die unteren, hinabſinken und die wärmeren Theile zum Heraufſteigen veranlaſſen. So iſt alſo ein deutlicher Grund vorhanden, warum am Boden tiefer Gewäſſer ungefähr die kälteſte Lufttemperatur, die an dem Orte im Laufe des Jahres vorkömmt, gefunden werden muß, ſo lange dieſe Temperatur höher als die der größten Dichtigkeit entſprechende Wärme iſt; eine tiefere Temperatur als die der größten Dichtigkeit entſprechende kann aber (ohne beſondre Veranlaſſung) am Boden ſüßer Gewäſſer nie eintreten, weil das Niederſinken kälterer Waſſertheilchen (z. B. von 1°, von ½° Wärme) unter jene nicht ſtatt findet. Im Meer dagegen kann, weil Salzwaſſer keine ſolche größte Dichtigkeit, von welcher an es ſich ſowohl im Abkühlen als im Erwärmen ausdehnt, erreicht,[1] die Temperatur bis zur Gefrierkälte herabgehen, und Peron's Beobachtung, daß die Temperatur am Boden der Meere wirklich ſo niedrig iſt, ließe ſich hiernach einſehen, wenn nicht noch zwei Umſtände dabei im Wege ſtänden. Der erſte iſt, daß Peron dieſe ſehr niedrige Temperatur auch in den Tropengegenden, wo die Luft nie ſo kalt wird, beobachtet hat, der andre, daß wir der Erde, alſo doch auch dem Boden des Meeres, eine ſo niedrige Temperatur beizulegen nicht geneigt ſind.

In Beziehung auf den erſten Einwurf, daß die Kälte der Luft dort, wo es keine kalte Jahreszeit giebt, nicht die Kälte am Boden des Meeres bewirken könne, bemerkt Peron wohl mit Recht, daß ein Strom kaltes Waſſer von den Polen gegen den Aequator am Boden des Meeres faſt nothwendig ebenſo gut wie ein Strom warmen Waſſers in der entgegen geſetzten Richtung an der Oberfläche ſtatt finden müſſe, und findet in ſeinen Beobachtungen einen Beweis hiefür. Der zweite Umſtand iſt aber allerdings noch nicht ganz aufgehellt, indem, wie von Buch mit Recht bemerkt, eine ſo große Kälte der Erde ſelbſt in dieſer Tiefe nicht glaublich iſt, dann aber doch auch nicht klar wird, warum die unaufhörlich vom Boden aus gehende Wärme nicht wirkſam genug iſt, um auch dem Waſſer eine etwas höhere Temperatur zu ertheilen.

[1] Nach Muncke's Verſuchen erreicht Seewaſſer ſeine größte Dichtigkeit bei — 5° C. (M.)

Jene Mittheilung der Kälte der Luft an die untern Schichten des Meereswaſſers iſt von der größten Wichtigkeit für die Milderung des Clima's der Gegenden am Meere. Im Sommer iſt es minder heiß an den Ufern des Meeres, weil die erwärmte Luft dem Waſſer etwas Wärme mittheilt, und dieſe Mittheilung bleibt nicht ganz und gar oberflächlich, weil die Wellenbewegung eine gleichmäßige Erwärmung bis zu den Tiefen, wohin die Wellen noch reichen, zur Folge hat. Dadurch aber wird das Meer in ſeinen obern Schichten zu einem Wärmebehälter, der im Winter an die kältere Luft Wärme abgiebt und das Clima der Seeufer minder kalt macht. Dieſe Milderung des Clima's wird noch befördert durch die an der Oberfläche des Meeres, beſonders in gewiſſen Gegenden, ſehr bedeutenden, warmen Strömungen vom Aequator her, und die Gegenden in der Nähe der Pole erhalten daher eine mildere Temperatur, als ſie ſonſt beſitzen würden. [1]

Man hat bemerkt, daß über Untiefen, wenn der Boden des Meeres nicht allzu nahe unter der Oberfläche iſt, das Meereswaſſer kälter iſt, als bei großer Tiefe. J. Davy erklärt dieß daraus, daß die kältern Waſſertheilchen in eine gleichſam unermeßliche Tiefe hinabſinken, wo die Tiefe des Meeres dieß erlaubt, dagegen doch nur bis an den Boden hinabſinken können, wenn dieſer nicht ſo entfernt iſt, im letztern Falle alſo durch ihre Nähe das Waſſer ſchon in geringer Tiefe unter der Oberfläche abkühlen. Bei ſehr flachem Waſſer erwärmen die Sonnenſtrahlen den Boden ſelbſt, und da findet jene Kälte über Untiefen alſo nicht mehr ſtatt.

Waſſerlöcher auf den Alpen.

Als einen merkwürdigen Beweis dafür, daß das Waſſer bei ſeiner größten Dichtigkeit noch fähig ſey, Eis zu ſchmelzen, führt Rumford folgende Erfahrung an. Die Alpenreiſenden finden manchmal auf dem Gletſchereiſe tiefe Waſſerlöcher, die bei geringem Durchmeſſer eine Tiefe von 4 Fuß erlangen und bis oben mit Waſſer gefüllt ſind. Sie entſtehen während des Sommers (wahrſcheinlich durch Steine, welche ſtärker als das umliegende Eis von der Sonne erwärmt werden, das Eis ſchmelzen und dadurch einſinken) und vertiefen ſich, ſo lange es oben hinreichend warm iſt; dieſes allmälige Vertiefen aber wird offenbar dadurch bewirkt, daß die größte Dichtigkeit des Waſſers einer Wärme entſpricht, die erheblich höher als die Kälte des aufthauenden Eiſes iſt. Es erhellt nämlich leicht, daß unmittelbar am Boden des Waſſerloches, wo es ſich in einer Eismaſſe endigt, die Gefrierkälte ſtatt findet; die hier ſich eben auflöſenden Waſſertheilchen ſind aber leichter, als die um etwa 1 bis 4 Grad mehr erwärmten, die ſich in der Mitte der Waſſermaſſe befinden, und jene ſteigen daher hinauf, um dieſen Platz zu machen; ſo gelangen Waſſertheilchen an den Boden, die warm genug ſind, um wieder einige Eistheilchen in Waſſer zu verwandeln, und da ſie bei ihrem Abkühlen wieder aufſteigen und durch neue erſetzt werden, ſo dauert dieſes langſam fortſchreitende Aufthauen ſo

[1] Ueber die Entſtehung dieſer Ströme ſ. S. 106 f.

lange fort, als die Sonnenſtrahlen das obere Waſſer noch immer ein wenig über den Gefrierpunkt erwärmen.

Luftſtrömungen.

Ueber die Abhängigkeit der Luftſtrömungen und der Winde von der ungleichen Erwärmung der Luft habe ich ſchon bei einer andern Gelegenheit ſo viel geſagt (S. 159 ff.), daß ich kaum noch darauf zurückzukommen brauche. Die Frage, warum ſich denn die obere Luft in der Atmoſphäre nicht erwärmt, da doch die erwärmte Luft ganz gewiß immer aufwärts ſteigt, kann ich hier noch nicht vollſtändig beantworten, ſondern muß mich begnügen anzudeuten, daß die aufſteigende Luft ſich in einen größern Raum ausdehnt und dadurch abgekühlt wird. Bei dem gewöhnlichen Zuſtande der Luft findet deshalb auch kein merkliches Herunterſinken der kalten Luft ſtatt, weil dieſe in der Höhe denjenigen Grad der Verdünnung angenommen hat, wodurch ſie leichter als die untere wärmere Luft iſt, und nur über ſehr merklich erwärmten Flächen finden deutlich aufwärts gehende warme Luftſtröme und zum Erſatze herabwärts gehende kalte Luftſtröme ſtatt. Dagegen in den Fällen, wo plötzlich heftige Abkühlung in den obern Gegenden der Luft eintritt, bemerkt man wohl das Herunterſtürzen der kalten Luftſchichten, und die kalten, oft durchdringend kalten Gewitterwinde ſcheinen theils dadurch, theils durch die in dem Regenguſſe mit herabgeriſſene Luft zu entſtehen, die ſich von dem Orte der Wolke aus, nachdem ſie auf der Erde eine horizontale Richtung angenommen hat, nach allen Seiten hin ausbreitet.

Als eine hieher gehörende Bemerkung will ich noch anführen, daß Scoresby erzählt, ein lebhafter Sturm, der vom offnen Meere her gegen eine Meilen weit mit Eis bedeckte Meeresfläche fortgeht, werde von Schiffen, die ſich mitten in dieſem Eiſe befinden, oft gar nicht bemerkt. Dieß erklärt ſich aus dem durch den Unterſchied der Wärme in jedem Falle veranlaßten Andrange der untern kalten Luft vom Eiſe her, die ſich dem aus der entgegengeſetzten Richtung kommenden Sturme widerſetzt, und aus der bei der Abkühlung der eindringenden Luft ſtattfindenden Verminderung des Volumens, welche noch erheblicher iſt, wenn ſich Schnee aus der feuchten, wärmern Luft niederſchlägt.

Von den Luftſtrömungen durch ungleiche Erwärmung macht man eine Anwendung, wo man friſche Luft in eingeſchloſſene Räume bringen will. Läßt ſich nämlich da ein Zutritt kalter und reiner Luft in dem untern Theile des Zimmers erhalten und ohne andre Nachtheile anwenden, während die erwärmte Luft des Zimmers oben ausfließt, ſo läßt ſich der Zweck der Luftreinigung dadurch erreichen, nur hat es oft einige Schwierigkeit, der durch die Kälte der einſtrömenden Luft verurſachten Unbequemlichkeit auszuweichen. Hierauf beruhen mehrere Vorrichtungen, die unter dem Namen Ventilatoren bekannt ſind. Doch es iſt Zeit, zu andern Erſcheinungen der Wärme überzugehen.

Fünfzigſte Vorleſung.

Die Erſcheinungen der Wärme, die ich jetzt zunächſt Ihrer Aufmerkſamkeit empfehlen will, ſind die, welche die Verbreitung der Wärme betreffen. Es bieten ſich uns hier zwei weſentlich verſchiedene Arten, wie die Wärme ſich verbreitet, dar, nämlich durch Ausſtrahlen und durch Leitung; denn eine dritte Art der Mittheilung, welche wir bei den Phänomenen der Wärme wahrnehmen, wo ſie nämlich durch Strömung in den flüſſigen Körpern ſich verbreitet, kann nicht als eigenthümliche Mittheilungsart angeſehen werden.

Strahlende Wärme. Zurückwerfung und Brechung derſelben.

Nicht bloß die Sonnenwärme, ſondern auch die von irdiſchen leuchtenden Körpern ausgehende Wärme zeigt ſich ſo an das Licht gebunden oder mit demſelben zuſammenhängend, daß wir die Strahlen der Wärme ebenſo wie die des Lichtes verfolgen können. Die Brennſpiegel ſammeln die Sonnenſtrahlen als erwärmende Strahlen in eben dem Punkte, wo ſie ein Bild vermöge der geſammelten Lichtſtrahlen hervorbringen, und wir ſehen daher, daß auch die Wärmeſtrahlen eben das Geſetz der Reflexion, unter einem dem Einfallswinkel gleichen Winkel zurückgeworfen zu werden, befolgen. Die großen Wirkungen der Brennſpiegel ſind bekannt, und obgleich es bei großen Spiegeln von mehreren Fußen Durchmeſſer nur dann, wenn ſie ſehr vollkommen gearbeitet ſind, ſtatt findet, daß ſie die Strahlen in einem ſehr kleinen Brennraume vereinigen, ſo iſt doch das, was ſie leiſten, immer ſchon ſehr erheblich. Das Bild, welches die Sonnenſtrahlen im Brennpunkte des Spiegels darſtellen, wenn dieſer nicht zu viel Grade umfaßt, ſo daß man auf die Abweichung wegen der Kugelgeſtalt nicht zu ſehen braucht, läßt ſich nach den Regeln der Optik beſtimmen, und es iſt deſto größer im Durchmeſſer, je größer die Brennweite iſt; aus dieſem Grunde, weil die vom Spiegel zurückgeworfenen Strahlen ſich weniger nahe in einen engen Raum vereinigen, iſt die Wirkung eines gleich großen Hohlſpiegels ſchwächer bei großer Brennweite, übrigens aber bei gleicher Brennweite der Größe des Spiegels proportional. Ein Spiegel von 4 Fuß Durchmeſſer und 6 Fuß Brennweite würde eine Hitze, die etwa 5000mal ſo groß als die unmittelbare Erwärmung durch die Sonnenſtrahlen iſt, hervorbringen. Man kann auch wirklich mit Brennſpiegeln Glas und Metalle ſchmelzen und Wirkungen hervorbringen, die das heftigſte Feuer nur hervorbringen kann. Da dieſe Wirkung ſehr davon abhängt, daß man recht große Brennſpiegel anwendet, welche ſich nicht ſo leicht verfertigen laſſen, ſo hat man verſucht, mit vielen vereinigten ebnen Spiegeln eben das zu leiſten. Am merkwürdigſten ſind in dieſer Hinſicht von Büffon's Verſuche, welcher ebne, mit einander verbundene Spiegel ſo ſtellte, daß alle das von ihnen zurückgeworfene Sonnenlicht auf einen Punkt warfen; 40 ſo verbundene Spiegel,

6 Zoll hoch und 8 Zoll breit, ſetzten ein getheertes Bret in 50 Fuß Entfernung in Brand, 117 Spiegel brachten Silber zum Schmelzen.

Die Verſuche mit Brennſpiegeln zeigen ferner, daß auch die mit keinem Leuchten verbundene Wärme noch ebenſo zurückgeworfen wird. Man kann dieß beweiſen, indem man eine nicht mehr im Dunkeln leuchtende, alſo keine uns ſichtbaren Lichtſtrahlen mehr ausſendende Metallkugel oder ſelbſt nur ein mit kochendem Waſſer gefülltes Gefäß in bedeutender Entfernung von einem Hohlſpiegel aufſtellt, und ein Thermometer in demjenigen Punkte anbringt, wo ein Licht, an die Stelle jener Kugel gebracht, ſein Bild darſtellen würde; dieſes Thermometer ſteigt ſogleich, ſobald jene Kugel ihren Platz einnimmt oder ſobald man einen bis zu dieſem Augenblicke den Zutritt der Wärme hindernden Schirm entfernt. Eben dieſer Verſuch oder ein ähnlicher, bei dem man ſich zweier Brennſpiegel bedient, zeigt auch die ſchnelle Verbreitung der ſtrahlenden Wärme. Pictet ſtellte zwei Brennſpiegel ſo einander gegenüber, daß die mit der Axe des einen parallel zurückgeworfenen Strahlen auch den andern Spiegel parallel mit ſeiner Axe trafen; wurde nun eine ſehr heiße, aber nicht mehr glühende Kugel in den Brennpunkt des erſtern gebracht, ſo daß die reflectirenden Strahlen den andern Spiegel in parallelen Richtungen trafen und in ſeinem Brennpunkte geſammelt wurden, ſo ſtieg das im Brennpunkte des zweiten Spiegels ſtehende Thermometer augenblicklich, wenn der zwiſchengeſetzte Schirm weggenommen ward, und dieß auch dann, wenn die Wärmeſtrahlen 80 Fuß zu durchlaufen hatten. Die Wärmeſtrahlen gehen alſo wenigſtens ſo ſchnell fort, daß wir in Entfernungen von 80 oder 100 Fuß noch keinen Zeitverluſt wegen der Fortpflanzung wahrnehmen können; indeß bleiben wir darüber, ob dieſe Geſchwindigkeit der des Lichtes nahe kömmt, in Unwiſſenheit.[1]

Die ſtrahlende Wärme iſt auch der Brechung auf ganz ähnliche Weiſe wie das Licht unterworfen. Dieß beweiſen unſre Brenngläſer, welche die durchgelaſſenen Wärmeſtrahlen der Sonne ebenſo gut als ihr Licht im Brennpunkte ſammeln und dadurch bei großen Brenngläſern eine Hitze, die zum Glasſchmelzen ausreicht, hervorbringen. Ein ähnlicher Verſuch läßt ſich mit dunkler Wärme, z. B. mit Metallkugeln, die nicht mehr glühen, nicht wohl anſtellen, weil die ſo ſchwache Wärme das Glas nicht ſtark genug durchdringt. Die von heißeren Wärmequellen kommenden Wärmeſtrahlen werden ſtärker abgelenkt oder ſind brechbarer als die von minder heißen Quellen ausgehenden.

Die Beobachtung, daß auch die Wärmeſtrahlen ſo wie die Lichtſtrahlen gebrochen werden, führt zu der Frage, ob ſie denn mit irgend einem der Farbeſtrahlen in Hinſicht der Brechung ganz genau übereinſtimmen. Der ältere Herſchel hat dieſe Frage zuerſt beantwortet, indem er in den durch ein Prisma getrennten Farbenſtrahlen der Sonne Thermometer aufſtellte und die Wärme vom violetten und blauen Strahle an bis zum rothen immerfort

[1] Wahrſcheinlich ſteht die Geſchwindigkeit der ſtrahlenden Wärme der des Lichts nicht viel nach. Nach Wredes neueſten Verſuchen ſoll ſie ſich zu derſelben wie 4 zu 5 verhalten. (M.)

zunehmend fand, ja die größte Wärme erſt da beobachtete, wo das Auge ſogar auch keine rothen Strahlen mehr bemerkte. Spätere Verſuche, beſonders die von Seebeck, haben gezeigt, daß die Lage der am meiſten erwärmenden Gegend des Farbenbildes nicht bei allen Prismen ganz gleich iſt, ſondern daß ſie ebenſo wie die Farbenzerſtreuung von der Verſchiedenheit der Beſtandtheile des brechenden Körpers abhängt, daß aber faſt immer die größte Wärme ſehr weit gegen das Ende des Farbenbildes, wo das Roth liegt, und vielleicht zuweilen ſogar jenſeits der Grenze des noch deutlich ſichtbaren Roth gefunden wird. In den meiſten Fällen muß man alſo den Brennpunkt eines Glaſes da annehmen, wo die rothen Strahlen ſich ſammeln. Bei den mit Waſſer, Weingeiſt, Terpentinöl gefüllten Prismen liegt die größte Wärme im Gelb, bei andern Flüſſigkeiten im Orange. Die kleinſte Wärme liegt immer an der äußerſten Grenze des Violett.

Schwächung der Wärmeſtrahlen beim Durchgange durch durchſichtige Körper.

Wenn wir Sonnenſtrahlen durch eine reine Glasſcheibe fallen laſſen, ſo finden wir keinen merklichen Unterſchied in den Angaben des Thermometers, wir mögen die Wärme vor oder nach dem Durchgange durch Glas beobachten, und die Strahlen ſcheinen daher eine ſehr geringe Schwächung zu erleiden, allenfalls nur ſo wie das Licht bei dem Durchgange durch Glas und ähnliche Körper. Dagegen iſt es auffallend, wie ſehr eine vorgehaltene Glasplatte ſchon gegen die Hitze des hellbrennenden Feuers ſichert, und noch mehr wird die dunkle Wärme durch einen durchſichtigen Körper zurückgehalten. Dieſe ſehr bekannten Erfahrungen ſind durch die genauen Verſuche von Prevoſt und Delaroche beſtätigt worden, und dieſe haben noch einige hiemit verbundene merkwürdige Erſcheinungen kennen gelehrt. Bei den hierüber angeſtellten Verſuchen wurden bald ein, bald mehrere Glasſchirme zwiſchen der Wärmequelle und dem Thermometer aufgeſtellt, dieſe Schirme aber ſo oft erneuert, daß ihre eigne Erwärmung nicht auf das Thermometer Einfluß haben konnte, und es zeigte ſich, daß die durchgelaſſene Wärme in Verhältniß der geſammten Wärme deſto mehr betrug, je größer dieſelbe war. Es wurde nämlich eine erhitzte Maſſe im Brennpunkte eines Brennſpiegels aufgeſtellt; die von dieſem parallel zurückgeworfenen Strahlen trafen einen andern Brennſpiegel und erwärmten das in deſſen Brennpunkte ſtehende Thermometer. Man ſtelle jeden Verſuch auf doppelte Weiſe an, bald ſo daß kein Schirm die Lichtſtrahlen aufhielt, bald ſo daß ein Glasſchirm zwiſchen beide Spiegel geſtellt wurde. Hier ergab ſich nun, daß Queckſilber von 182° C. (146° R.) Wärme im einen Brennpunkte das Thermometer ohne Schirm um 3,9 Gr. ſteigen machte, mit Anwendung des Schirmes dagegen nur um 0,15 oder $^{3}/_{20}$ Grad, daß alſo hier der Schirm nur $^{1}/_{26}$ der Wärme durchließ; ferner daß kochendes Queckſilber von 356° C. (285° R.) ohne Schirm ein Steigen von 16 Gr., mit dem Schirme von 1,2 Grad hervorbrachte, daß alſo in dieſem Falle

beinahe $^1/_{15}$ der auffallenden Wärme durchgelaſſen wurde; Eiſen, deſſen Wärme 427° C. (342° R.) betrug, brachte eine doppelt ſo große Wärme, nämlich 32° ohne Schirm hervor und von dieſer ward beinahe $^1/_7$ durchgelaſſen; glühendes Kupfer, deſſen Wärme man zu 960° C. annimmt, gab eine Wärme, wovon $^2/_7$ durchgelaſſen wurden, und von der Erwärmung vermittelſt einer Argand'ſchen Lampe ward gar die Hälfte durch den Schirm durchgelaſſen. Wir ſind alſo berechtigt zu ſagen, daß die auf einen Glasſchirm fallenden Wärmeſtrahlen in ſehr geſchwächtem Verhältniſſe durchgelaſſen werden, wenn die Grade der Wärme geringer ſind, daß mithin die an ſich größere Wärme gleichſam mit größerer Gewalt das Glas trifft, ſo daß ſie wenig geſchwächt durchgelaſſen wird, während eine ſchwache Wärme faſt ganz und gar aufgehalten wird. Ob wir daraus auf eine ungleiche Geſchwindigkeit der ſtärkern und der ſchwächern Wärme ſchließen ſollen, iſt ganz unentſchieden, und die gleich anzuführenden Verſuche machen unſer Urtheil noch unſicherer.

Nach den eben angeführten Verſuchen ſollte man nämlich erwarten, daß in dem Falle, wo durch einen Schirm etwa $^1/_7$ der Wärme durchgelaſſen ward, durch zwei Schirme nur $^1/_{49}$ durchgehen könnte, weil von dem zuerſt durchgelaſſenen Siebentel ja wieder nur der ſiebente Theil durchgehen zu können ſcheint, ja noch weniger, weil ſchwächere Wärme in noch ſchwächerem Maße durchgelaſſen wird; aber ſo verhält es ſich bei dieſen Verſuchen nicht, ſondern durch zwei Schirme ging $^1/_{14}$ der ganzen Wärme, alſo die volle Hälfte der vom erſten Schirme durchgelaſſenen Wärme ging durch den zweiten Schirm. Es ſcheint demnach hier ein ähnliches Einwirken des Glaſes, wie bei der Polariſirung des Lichtes ſtatt zu finden, daß nämlich, ſo wie dort das durch ein Glas gegangene Licht nun am zweiten Glaſe nicht mehr ſo viel durch Zurückwerfung an der Oberfläche deſſelben verliert, ſo auch hier die durch ein Glas gegangenen Wärmeſtrahlen fähiger werden, das zweite zu durchdringen. Wir weichen alſo nicht von der Erſcheinung ab, wenn wir es als eine Vermuthung aufſtellen, daß die Wärmetheilchen ebenſo in verſchiedenem Zuſtande ankommen, und indem einige aufgehalten, andre durchgelaſſen werden, die einmal durchgelaſſenen ſich in dem Zuſtande befinden, der ihnen auch bei der zweiten parallelen Platte den Durchgang erleichtert.[1] Hieraus läßt ſich dann auch einſehen, warum dickere Glasplatten nicht im Verhältniß der Dicke die Schwächung der Wärme vermehren.

Wie die bei dem Durchgange durch Glasſcheiben verloren gehende Wärme verwendet wird, das iſt ſchwerer als bei dem Lichte zu entſcheiden. Ohne Zweifel wird ein Theil an der Vorderfläche, ein andrer Theil an der Hinterfläche zurückgeworfen, und ein dritter Theil wird, wie wir deutlich bemerken, abſorbirt und zu Erwärmung des Glaſes ſelbſt angewandt, aber wie viel jeder

[1] Berard hat durch einen Verſuch eine wahre Polariſirung der Wärmeſtrahlen zu finden geglaubt, aber dieſer Verſuch hat Powell nicht gelingen wollen. — Auch Melloni erklärte ſich gegen die Polariſation des Lichtes, aber Forbes hat ſie (1835) mit Beſtimmtheit nachgewieſen und genau unterſucht. (M.)

dieſer Theile beträgt, läßt ſich nicht wohl beſtimmen. Uebrigens iſt es dieſe Schwächung der Wärmeſtrahlen, welche ſelbſt den directen Sonnenſtrahlen nicht geſtattet, das Meerwaſſer bis zu bedeutender Tiefe zu durchwärmen, und je weniger rein und durchſichtig das Meerwaſſer iſt, deſto mehr beſchränkt ſich die Erwärmung auf die obern Schichten.

Ueber das ungleiche Wärmedurchlaſſungsvermögen der verſchiedenen Körper hat Melloni die umfaſſendſten Unterſuchungen angeſtellt, bei denen ſich deutlich zeigte, daß die am meiſten durchſichtigen oder durchſcheinenden Körper nicht auch zugleich die meiſte Wärme durchlaſſen und beide Eigenſchaften von einander ganz unabhängig ſind. In Beziehung auf die Durchlaſſung der Wärme theilt er die Körper in diathermane, welche ſie durchlaſſen, und athermane, welche ſie nicht durchlaſſen, und fand folgende Reihenfolge der erſteren: Steinſalz (läßt von 100 Strahlen 92 durch), Flintglas, Schwefelkohlenſtoff, Kalkſpath = Bergcryſtall, Topas, Kronglas, Achat, Schwerſpath, Terpentinöl, Nuß-, Oliven-, Rüböl, Aquamarin, Borax, Turmalin, Copaivabalſam, Schwefeläther, Gyps, Schwefelſäure, Salpeter- und Citronenſäure = Alkohol, Alauncryſtall, Waſſer. Das letztere läßt von 100 Strahlen nur 11, alſo über 8mal weniger Wärme durch als das Steinſalz, halb ſo viel als Schwefeläther. Schwarzes Glas von gewiſſer Dicke und Kienruß ſind undurchſichtig, aber gleichwohl diatherman, doch hat Kienruß unter allen bekannten Körpern das ſtärkſte Abſorptionsvermögen. — Der Einfluß der Dicke iſt nicht ſehr bedeutend. Bei einer Rauchtopasplatte nahm die Menge derjenigen Wärmeſtrahlen, die von 100 durchgelaſſen wurden, durch 24fache Dicke von 57 auf 54, bei Kalkſpath durch 46fache Dicke um ein Viertel ab; bei Steinſalz zeigten Scheiben von 2 bis 40 Millimeter Dicke keinen Unterſchied.

Dringen Wärmeſtrahlen derſelben Wärmequelle nach einander durch verſchiedene Subſtanzen, ſo werden ſie in ſtärkerem Maße abſorbirt, als wenn ſie durch gleichartige Subſtanzen gehen; Wärme verſchiedenartiger Wärmequellen aber wird, wenn ſie auch direct gleiche Temperaturerhöhungen hervorbringt, von denſelben Mitteln in ungleichem Maße durchgelaſſen und abſorbirt. Die Fähigkeit der Körper, gewiſſe Wärmeſtrahlen durchzulaſſen und andre zu abſorbiren, nennt man ihre Diathermanſie, während Diathermanität die Fähigkeit iſt, von den auffallenden Wärmeſtrahlen einen (aliquoten) Theil durchzulaſſen. In der Regel laſſen die Körper Wärmeſtrahlen aus Wärmequellen hoher Temperatur (oder von größerer Brechbarkeit) leichter als aus ſolchen niederer Temperatur durch. Kienruß aber hat die entgegengeſetzte Eigenſchaft und läßt grade weniger warme Wärmeſtrahlen leichter durch. Nur Steinſalz zeigt für alle Wärmequellen eine völlig gleiche Fähigkeit durchſtrahlt zu werden, und zeigt demnach daſſelbe Verhalten in Bezug auf die Wärme, wie farbloſes Glas in Bezug auf das Licht.

Abhängigkeit der Wärmeſtrahlung von der Beſchaffenheit der Oberfläche.

Ebenſo merkwürdig, als dieſe Beobachtungen über den Durchgang der ſtrahlenden Wärme durch Glas, ſind die Verſuche über die von der Oberfläche abhängende Ungleichheit bei der Erwärmung durch ſtrahlende Wärme und bei der Abkühlung eines erwärmten Körpers. Eine ſehr leicht ſich darbietende Erfahrung zeigt, daß ein ſchön polirter Metallſpiegel faſt gar nicht erhitzt wird, wenn man ihn den erwärmenden Strahlen der Sonne oder des Feuers ausſetzt, und daß man dagegen ein unpolirtes Metall oder noch mehr ein ſchwarz gefärbtes Metall durch eben die Wärmeſtrahlen ſehr erhitzt findet. Hier werden alſo die Wärmeſtrahlen zur Erwärmung thätig da, wo ſie und zugleich die Lichtſtrahlen wenig zurückgeworfen werden. Weiße Körper, die viel Licht zurückwerfen, erwärmen ſich gleichfalls weniger als ſchwarze, und es läßt ſich, obgleich ein ſtrenges Abmeſſen hier ſchwierig iſt, mit Sicherheit ſagen, die Körper erwärmen ſich bei auffallenden Wärmeſtrahlen in eben dem Grade mehr, wie ſie weniger Licht bei auffallenden Lichtſtrahlen zurückwerfen. Eine ſchwarze Wand wird an den Sonnenſtrahlen faſt unerträglich heiß; ſchwarzes Zeug, auf den Schnee gelegt, ſinkt, weil der Schnee darunter aufthaut, tiefer ein als weißes; Schnee und Eis erhalten da am eheſten tiefer eingethaute Löcher, wo ſchwarze Erde darauf lag; Gefäße, inwendig ſchwarz gefärbt und mit mehreren Glasplatten oben geſchloſſen, werden im Innern ſehr heiß, wenn die Sonne durch die Glasplatten hereinfällt; wenn man mit einem ſchwachen Brennglaſe Papier am Sonnenlichte anbrennen will, ſo bemerkt man bald, daß dieſes leichter da gelingt, wo das Papier ſchwarz iſt, als wo es weiß iſt. Hierin liegt der Grund, warum im Winter neben grauen oder ſchwärzlichen Baumſtämmen oder Pfählen der Schnee verſchwindet (durch Abthauen und Verdunſten), während er in einiger Entfernung ſich vollkommen erhält, weil nämlich bei jedem Sonnenſtrahle jene Körper ſich in einigem Grade erwärmen.

Eine ähnliche Uebereinſtimmung findet zwiſchen Licht und Wärme bei dem Durchgange ſtatt, indem trübes Glas wenig Licht durchläßt und ſich zugleich erwärmt, recht helles, reines Glas dagegen faſt alles Licht durchläßt und ſich beinahe gar nicht erwärmt. In Beziehung auf unſre nächſten Betrachtungen iſt indeß jene bei der Zurückwerfung beobachtete Uebereinſtimmung noch wichtiger.

Die eben erwähnten Erfahrungen über die von gewiſſen Körpern in bedeutendem Maße, von andern Körpern wenig zurückgeworfene Wärme ſtimmen mit den Verſchiedenheiten der als ſtrahlend von erwärmten Körpern ausſtrömenden Wärme überein. Wenn man zwei ganz gleiche hohle Kugeln von Metall verfertigen läßt, beide gleich gut polirt, aber die Politur der einen mit Ruß überzieht oder auch nur ſchwarz färbt, ſo kühlt ſich, wenn man ſie beide mit gleich heißem Waſſer füllt, die geſchwärzte ſchneller ab, und ſo giebt

in allen Fällen diejenige Oberfläche die Wärme leichter her, die fähiger iſt, ſie bei auffallender Wärmeſtrahlung von außen leichter aufzunehmen. Der Unterſchied der Abkühlung iſt ſo bedeutend, daß man den Verſuch mit zwei gleichen Metallgefäßen, deren eines polirt, das andere mit Ruß überzogen iſt, nur ſehr oberflächlich anzuſtellen braucht, um, wenn man beide mit kochendem Waſſer gefüllt hat, das viel ſchnellere Sinken des Thermometers in dem geſchwärzten deutlich wahrzunehmen.

Man bemerkt dieſe ungleiche Ausſtrahlung auch noch durch eine andere Beobachtung. Wenn man nämlich das polirte und das geſchwärzte Gefäß gleich erhitzt, beide zum Beiſpiel mit kochendem Waſſer füllt, ſo bemerkt man bei Annäherung der Hand die ſtrahlende Wärme ſchon ziemlich entfernt von dem geſchwärzten Gefäße, aber erſt bei ſehr großer Annäherung, wenn man ſie gegen das polirte Gefäß heranbringt. Leslie hat hierüber mehrere Verſuche angeſtellt und Zahlenbeſtimmungen angegeben, wie viel die unter verſchiedenen Umſtänden durch Strahlung ſich zerſtreuende Wärme beträgt; darnach iſt die Menge der ausſtrahlenden Wärme 7mal ſo groß, wenn polirtes Silber mit einem dünnen Goldſchlägerhäutchen bedeckt, als wenn es ganz frei iſt, und 10mal ſo groß, wenn es mit Ruß bedeckt, als wenn es frei iſt. Ein Verſuch, der dieß am beſten zeigt, iſt folgender von Leslie vorgeſchlagene, der mit Hülfe eines Differentialthermometers ſich leicht anſtellen läßt. Man läßt einen Würfel von Blech verfertigen, deſſen eine Seite vollkommen glänzend polirt, die andere matt geſchliffen, die dritte weiß übermalt, die vierte geſchwärzt wird. Hierauf ſtellt man (XI. Fig. 13) einen Brennſpiegel AB auf und beſtimmt genau den Punkt, wo ein in beſtimmter Stellung D angebrachtes Licht ſein Bild C hin wirft; in dieſen letztern Punkt C, der in der Nähe des Brennpunkts liegt, wenn man das Licht mehrere Fuße weit jenſeits des Brennpunkts aufgeſtellt hatte, bringt man die eine Kugel des Differentialthermometers, in den Ort D aber, wo das Licht ſich befand, bringt man jenen Würfel, den man mit kochendem Waſſer gefüllt hat. Hier zeigt ſich nun die von dem heißen Würfel ausſtrahlende Wärme dadurch, daß ſie, durch den Hohlſpiegel zurückgeworfen und gesammelt, das Thermometer C zum Steigen bringt; aber man bemerkt, daß dieſes Steigen viel bedeutender iſt, wenn man die ſchwarze Fläche dem Spiegel zuwendet, daß das Thermometer weniger ſteigt, wenn die weiße oder die matt geſchliffene Fläche gegen den Spiegel gekehrt iſt, und daß die Erhitzung am geringſten iſt, wenn die polirte Seite dieſen Platz einnimmt. So lange das Waſſer ſich nicht erheblich abkühlt, kann man dieſe Wechſel mehrmals nach einander hervorbringen.

Hierauf gründen ſich manche Vorſchriften, die man zu geben pflegt, ſo wie manche Verbeſſerungen, die man angebracht hat. Blanke Küchengeſchirre laſſen die Wärme weniger leicht einſtrömen und erfordern daher einen größern Aufwand von Brennmaterial. Will man die Wärme eines Körpers gern lange erhalten, z. B. die Wärme von Speiſen oder Getränken, ſo bedient man ſich am beſten der von außen vollkommen polirten Gefäße, weil dieſe die Wärme

nicht ſo ſchnell durch Strahlung zerſtreuen; ſoll dagegen, wie bei unſern Oefen, die Wärme recht ſchnell und vollſtändig dem umgebenden Raume mitgetheilt werden, ſo muß man die Oberfläche geſchwärzt und am liebſten nicht glänzend erhalten. Die Platinoberfläche unſerer porcellanenen Theegeſchirre iſt alſo zweckmäßig zur Erhaltung der Wärme, und ebenſo würde man Dampfröhren, wenn ſich der Dampf darin noch nicht abkühlen ſoll, von außen poliren müſſen, ſolche Dampfröhren dagegen, die zur Erwärmung von Zimmern dienen ſollen, müſſen eine ſchwarze, rauhe Oberfläche haben. Um die Abkühlung und ebenſo um die Erwärmung recht ſicher zu hindern, müßte man ein polirtes Gefäß noch mit einem an beiden Seiten polirten Gefäße umgeben und allenfalls noch eine dritte polirte Wand hinzufügen. Da ein Ofenſchirm uns gegen die zu ſtarke ſtrahlende Wärme des Ofens ſichern ſoll, ſo iſt es zweckmäßig, ihn mit einer metalliſchen Belegung zu verſehen, z. B. an beiden Seiten mit Goldpapier zu überziehen. Ebenſo könnte man Mobilien, die dem Ofen zu nahe ſtehen, vor der zu ſtarken Erhitzung ſichern.

Auch ein Vorſchlag von Flaugergues, wie man die Temperatur der Luft genau beſtimmen ſoll, gründet ſich auf dieſe Erfahrungen. Wenn wir ein Thermometer aufhängen, ſo iſt dieß doch immer neben der Einwirkung der Temperatur der Luft auch der Einwirkung der von den umgebenden Körpern ausſtrahlenden Wärme ausgeſetzt, und davon hängen manche Ungleichheiten ab, die man zu vermeiden wünſcht. Flaugergues räth daher an, das Thermometer mit einem Cylinder zu umgeben, deſſen Wände, ein oder zwei Zoll von dem Thermometer entfernt, dieſem keine Wärme unmittelbar mittheilen, und indem ſie an der äußern und an der innern Oberfläche metalliſch glänzend ſind, die Aufnahme der ſtrahlenden Wärme von außen abhalten und nach innen ſie nicht leicht abgeben; die frei zuſtrömende Luft ertheilt dann dem Thermometer die eigentliche Wärme der Luft. Bei dieſer Mittheilung der Luftwärme an das Thermometer kömmt es aber auch auf die Oberfläche der Thermometerkugel an, indem eine geſchwärzte Oberfläche der Thermometerkugel dieſe fähiger macht, ſich ſchnell zu erwärmen, wodurch denn freilich in den meiſten Fällen, namentlich in den Sonnenſtrahlen ſelbſt, die Angaben des Thermometers einem höhern Wärmegrade als dem der Luft entſprechen.

Leslie hat unter dem Namen Photometer eine Anwendung des Differentialthermometers bekannt gemacht. Iſt die eine Kugel des Differentialthermometers ſchwarz, die andre völlig durchſichtig, ſo bringen die auf beide treffenden Wärmeſtrahlen in der ſchwarzen Kugel eine größere Wärme hervor, die ſich an dieſem empfindlichen Inſtrumente wahrnehmen läßt. Eigentlich iſt dieſes Inſtrument alſo ein Wärmemeſſer; aber da es nach Leslie's Angaben noch empfindlich genug iſt, um auch da Unterſchiede zu zeigen, wo wir nur Unterſchiede des Lichtes, nicht aber Unterſchiede der Wärme bemerken, z. B. wenn man das Inſtrument am Tage weiter vom Fenſter entfernt in das Zimmer zurückſtellt, ſo vertritt es zugleich die Stelle eines Licht abmeſſenden Inſtrumentes.

Auch das Aethriometer, deſſen Zweck es iſt, zu zeigen, daß die Wolken mehr Wärme als das wolkenloſe Blau des Himmels ausſtrahlen, beruht auf dieſen Grundſätzen. Ein innen ſehr vollkommen polirter Metallbecher, der die auf ſeine innere Fläche fallenden Wärmeſtrahlen in A (XI. Fig. 12) concentrirt, enthält in dieſem Punkte die eine Kugel des Differentialthermometers, die hier am beſten ſchwarz iſt, um durch die auf ſie fallenden Wärmeſtrahlen deſto beſſer erwärmt zu werden, während die andere Kugel B außerhalb oder wenigſtens ſo an der Seite ſteht, daß ſie nicht durch concentrirte Strahlen erwärmt wird. Wendet man nun die innere Fläche CDE bald dem blauen Himmel, bald den Wolken zu, ſo fallen von den letztern doch einige, vom blauen Himmel faſt gar keine Wärmeſtrahlen (die wenigen abgerechnet, welche die Lufttheilchen ſelbſt zurückwerfen) auf die innere Fläche, und je reiner das Blau iſt, deſto weniger wird die Erwärmung der im Sammelpunkte A ſtehenden Kugel die der andern B übertreffen.

Gegenſeitige Erwärmung durch Ausſtrahlung. Strahlende Kälte.

Da alle uns umgebende Körper in größerm oder geringerm Grade erwärmt ſind, ſo geben ſie auch immerfort ſtrahlende Wärme her, und es findet demnach ein unaufhörlicher Austauſch der Wärme der verſchiedenen Körper ſtatt. Iſt das Thermometer ebenſo warm, als die Wand, welcher wir es nähern, ſo bemerken wir dieſe Ausſtrahlung nicht, weil die vom Thermometer gegen die Wand ausſtrahlende Wärme grade durch die von der Wand an das Thermometer übergehende erſetzt wird; dagegen wenn die Wand wärmer iſt, ſo ſehen wir das Thermometer ſteigen, weil es mehr Wärme empfängt als verliert, und im umgekehrten Falle ſehen wir es ſinken. Im letztern Falle, wo die Wand kälter iſt, hat es den Anſchein, als ob auch die Kälte ebenſo ſtrahlend von der Wand ausginge, wie ſonſt die Wärme, und unſre eigene Empfindung, wenn wir uns einem kalten Körper nähern, iſt ebenſo; aber offenbar iſt dieſer Anſchein bloß darin begründet, daß die von dem wärmeren Thermometer oder von der wärmeren Hand ausſtrömende Wärme durch die von der Wand oder von dem kältern Körper herüberkommende nicht ganz erſetzt wird. Aus dieſem Grunde fühlen wir uns unangenehm in einem Zimmer, deſſen Wände nicht durchwärmt ſind, wenn gleich der Ofen hinreichend warm iſt.

Ein vorzüglich auffallendes Phänomen der anſcheinend ausſtrahlenden Kälte iſt folgendes. Wenn man zwei Hohlſpiegel einander ſo gegenüberſtellt, daß die vom Brennpunkte A des einen (XI. Fig. 14) ausgehenden Strahlen, mit der Axe beider Spiegel parallel zurückgeworfen, ſich im Brennpunkte B des andern wieder ſammeln, ſo bringt ein nach A gebrachtes Eisſtück ein Thermometer in B zum Fallen, ſo daß es ſcheint, als würden die von A ausgehenden Kälteſtrahlen AD, AE nach DF, EG und dann nach FB, GB zurückgeworfen. Die Erklärung iſt aber ganz einfach. Wären in A und B

gleich warme Körper, ſo würde von A die Wärme nach den Wegen ADFB, AEGB ausſtrömen und ſich in B ſammeln, aber ebenſo viel Wärme würde von B aus auf denſelben Wegen nach A zurückkehren; iſt dagegen A kälter, ſo beträgt die ihm ertheilte Wärme noch immer ebenſo viel, ſtatt daß die von ihm ausgegangene Wärme geringer iſt; B erhält daher keinen vollkommenen Erſatz für die ausgeſandte Wärme, und da B, wenn wir die Hohlſpiegel als ſelbſt gar keine Wärme hergebend anſehen, aus dem ganzen Raume FG keine andere Wärme empfängt, als die von A ausgeſandte und auf dieſen Raum fallende, ſo wird die Abkühlung in B, der Mangel an Erſatz der verlornen Wärme, deſto fühlbarer, je mehr von A her kommende Wärmeſtrahlen ſich in B concentriren würden.

Hier bietet ſich zugleich die Frage dar, wie es ſich verhält, wenn zwei Körper zwar einerlei Temperatur beſitzen, aber wegen ungleicher Oberfläche nicht in gleichem Maaße fähig ſind, die Wärme ausſtrömen zu laſſen und die ſie treffende Wärme aufzunehmen. Wir können, um dieſe Frage zu beantworten, am beſten von der gewiß richtigen Erfahrung anfangen, daß, wenn die Wände eines umſchloſſenen Raumes eine beſtimmte Temperatur haben und alle in dieſem Raume enthaltenen feſten Körper ebenſo warm ſind, gar keine Veranlaſſung zur Aenderung der Wärme für alle dieſe Körper da iſt. Dieſe Erfahrung beruht darauf, daß erſtlich zwei Oberflächen, ſie mögen ſenkrecht oder ſchief gegen die von der einen zur andern gezogene Richtungslinie ſtehen, ſich nach Verhältniß des Theiles der Kugelfläche, den die eine in Beziehung auf die andre verdeckt, Wärme zuſenden, und daß zweitens die Oberflächen, welche mit Leichtigkeit Wärme aufnehmen, ſie auch mit Leichtigkeit ausſtrömen laſſen. Was das erſtere betrifft, ſo iſt es gewiß, daß (XI. Fig. 15) zwei Körper von ganz gleichartigen Oberflächen, deren einer eine Umhüllung ABD bildet, die den andern C umſchließt, wenn ſie beide gleich warm ſind, einander weder erwärmen noch abkühlen, und daß dieſes ſtatt findet, jene Umhüllung mag eine Kugelfläche ſeyn oder eine, wie man will, unregelmäßige Form AEFB haben. Die von der letztern gegen C ausgeſandte und ebenſo die ihr durch die Ausſtrahlung von C zugeſandte Wärme iſt alſo ebenſo groß, als diejenige Wärme, die von einer umſchließenden Kugelfläche ausgeſandt oder umgekehrt von derſelben aufgenommen werden würde, und in beiden Fällen, es mag die Kugelfläche oder die unregelmäßige Oberfläche dem ebenſo erwärmten Körper C dargeboten werden, findet die Ausgleichung der Wärme, die gleiche Erhaltung der Temperatur ſtatt. Aber eben das iſt auch zweitens der Fall, wenn die Oberflächen ungleich ſind, zum Beiſpiel das eine Mal die umhüllende Fläche AEBD polirt, das andere Mal geſchwärzt iſt. In dieſen beiden Fällen iſt die Ausſtrömung von dem Körper C, welchen wir unverändert annehmen, gleich, aber die geſchwärzte Umhüllung nimmt von dieſer zugeſandten Wärme vielleicht zehnmal ſo viel auf, als die polirte; jene müßte ſich alſo mehr erwärmen als dieſe, wenn nicht auch die Menge der Wärme, die ſie entläßt, zehnmal ſo groß als bei der andern wäre. Die

Erfahrung, daß der Austauſch der Wärme zwiſchen C und der umgebenden Hülle gleich gut ſtatt findet, wenn die Temperatur der Körper gleich iſt, und daß in dieſem Falle nichts von der Beſchaffenheit der Oberflächen abhängt, beweiſt alſo dieſe genaue Uebereinſtimmung zwiſchen der Aufnahme der durch Strahlung zugeführten und dem Verluſte der durch Strahlung hervorgehenden Wärme bei ungleicher Beſchaffenheit der Oberflächen.

Hiernach laſſen ſich alle einzelnen Fragen beantworten. Wenn eine polirte Metallwand und eine ſchwarze Wand einander gegenüber ſtehen, die beide gleich warm ſind, ſo ſendet die letztere eine größere Menge Wärme aus als die erſtere, aber der größte Theil derſelben wird von der polirten zurückgeworfen, kömmt zu der ſchwarzen zurück, und erſetzt daher den Wärmeabgang ſelbſt wieder, den dieſe erleiden zu müſſen ſchien, und da die polirte Fläche doch auch einige Wärme ausſendet und dieſe zum größten Theile in die geſchwärzte Oberfläche eindringt, ſo findet, wie ſich noch genauer nachweiſen läßt, ein völliger Erſatz der verlornen Wärme ſtatt. Sind die beiden Wände ungleich warm und die ſchwarze iſt die kältere, ſo bekömmt ſie von der wärmeren polirten Oberfläche erſtlich einen Erſatz für den eigenen Wärmeverluſt, aber zweitens, nach Maßgabe der höheren Temperatur, einen Ueberſchuß von Wärme, der indeß langſamer ausſtrömt, als es der Fall wäre, wenn auch die polirte Oberfläche geſchwärzt würde. Der entgegengeſetzte Fall läßt ſich hiernach leicht beurtheilen; ich werde aber in Beziehung auf beide Fälle noch etwas ſagen, wenn ich auf Fourier's Unterſuchungen komme. Hieher gehört Rumford's Verſuch, der neben einem ſehr empfindlichen Luftthermometer an der einen Seite einen um 10 Gr. erwärmten, auf der andern Seite einen um 10 Gr. erkälteten, übrigens dem vorigen ganz gleichen Körper aufſtellte; die ſtrahlende Wärme des einen Körpers bewirkte, indem dieſer dem Thermometer Wärme mittheilte, hier ebenſo viel, als bei dem andern Körper das Aufnehmen der Wärme, und das Thermometer änderte ſeinen Stand nicht, — der eine erwärmte mithin genau um ſo viel, als der andere Wärme entzog.

Einundfünfzigſte Vorleſung.

Leitung der Wärme.

Die bisher betrachtete Mittheilung der Wärme, die wir in allen Luftarten und ſelbſt im leeren Raume beobachten, ſtellt ſich uns ſo dar, als ob ſie, durch alle ſehr dünne Körper hindurch ſtattfindend, von der Natur der zwiſchenliegenden Körper nur wenig abhänge oder wenigſtens nicht durch eine Fortpflanzung der Wärme von Theilchen zu Theilchen erklärt werden müſſe; wir ſehen daher diejenige Mittheilung der Wärme, die wir Leitung derſelben nennen, als hievon weſentlich verſchieden an. Dieſe nämlich, die in

allen flüſſigen Körpern nur wenig merklich iſt, beſteht bei den feſten Körpern darin, daß die Wärme, welche man einigen Theilchen des Körpers ertheilt, ſich den benachbarten mittheilt, von dieſen auf die folgenden übergeht u. ſ. w.

Die feſten Körper haben ein ſehr ungleiches Leitungsvermögen für die Wärme, und im Allgemeinen iſt die Leitung durch die dichteren Körper, namentlich durch die Metalle, ſchneller, als durch Körper von geringer Dichtigkeit, indeß iſt die Folge der Körper nach ihrer Leitungsfähigkeit nicht genau mit der Reihe der Dichtigkeiten übereinſtimmend, Platin leitet zum Beiſpiel viel ſchlechter als Silber, wiewohl es weit dichter iſt. Manche ſehr bekannte Erfahrungen beruhen auf dieſem ungleichen Leitungsvermögen. Wenn wir unter ganz gleichen Umſtänden ein Metallſtäbchen und ein Stück Holz oder Papier erhitzen, ſo wagen wir ohne Bedenken, die letztern Körper mit der Hand zu berühren, während wir an dem Metalle uns zu verbrennen fürchten. Dieſes hängt von der ungleichen Leitungsfähigkeit ab, welche im Metalle auch den entfernten Wärmetheilchen einen ſo ſchnellen Zutritt zu den berührenden Theilen der Hand geſtattet, daß die lange Zeit hindurch gleich lebhaft unterhaltene Mittheilung der Wärme des heißen Körpers die unangenehme Empfindung des Brennens und eine zerſtörende Wirkung auf die Haut hervorbringt; dem Holze dagegen entreißt die Hand zwar ebenſowohl in den Punkten, wo die Berührung unmittelbar ſtatt findet, die Wärme, aber die auf die berührenden Theile der Haut übergehende Wärmemenge iſt zu gering und der aus den entferntern Theilen des Holzes zuſtrömende Vorrath von Wärme zu unbedeutend, um jene nachtheilige Einwirkung auf die Haut hervorzubringen. Darum verſehen wir metallene Gefäße, die wir erhitzt tragen oder ſonſt behandeln wollen, mit hölzernen Handgriffen oder umwickeln die metallenen Handgriffe mit Holzſpänen, Leinwand oder Papier.

Auf ganz ähnliche Art verhält es ſich mit kalten Körpern. Wenn in ſehr kalten Tagen Wollenzeug, Holz, Silber neben einander ſehr lange der Kälte ausgeſetzt geweſen ſind, ſo haben ſie gewiß einerlei Temperatur erlangt, und ein mit jedem von ihnen in enge Berührung gebrachtes Thermometer zeigt uns auch dieſe Gleichheit; aber dennoch fühlt ſich das Silber ſehr kalt an, während das Holz und vollends die Wolle uns gar nicht ſo ſehr unangenehm iſt. Auch hier iſt dieß die Wirkung der ungleichen Leitung der Wärme, indem das Silber die der Hand entzogene Wärme ziemlich ſchnell zur Erwärmung der ganzen Maſſe verwendet, ſtatt daß bei dem Holze und noch mehr bei der Wolle eine ſehr lange Zeit vergeht, ehe die entfernteren Theile etwas von der Wärme zugeführt bekommen, die der Hand entriſſen wird. Man kann an ſehr kalten Tagen ein Experiment machen, welches einigermaßen gradweiſe die ungleiche Wärmeleitung nachweiſt. Es iſt bekannt, daß, wenn man an recht kalten Tagen ein Metall, das ſich lange an einem kalten Orte befunden hat, mit naſſen Händen berührt, die Hand anklebt, eigentlich anfriert; dieß geſchieht ſchon bei ziemlich mäßiger Kälte am Silber, dagegen

fordert Zinn größere, Eiſen und vollends Meſſing noch größere Kälte, weil die letztern Metalle nicht ſo gute Leiter der Wärme ſind, als die erſtern.

Um regelmäßige Verſuche über die Wärmeleitung feſter Körper anzuſtellen, tauchte Ingenhouß Stäbe aus verſchiedenen Metallen, die mit erhärtetem Wachs überzogen waren, in eine heiße Flüſſigkeit, und ſah das Wachs am Silber am weiteſten von der Wärmequelle entfernt zum Schmelzen kommen, während Blei am wenigſten weit die hiezu nöthige Wärme annahm. Zwiſchen beiden Metallen ſtanden nach der Reihe Kupfer, Gold und Zinn, Eiſen, Stahl.[1] Aber noch beſſer ſind die Verſuche ſo angeſtellt worden, daß Thermometer, in der Metallmaſſe angebracht, bei verſchiedenen Entfernungen von der Wärmequelle die in beſtimmten Zeiten erlangten Wärmegrade zeigten. Nach ſolchen Verſuchen giebt Desprez an, daß, wenn eine Kupferſtange am einen Ende immer auf 83° erwärmt erhalten wurde, in $1\frac{1}{2}$ Fuß Entfernung die Temperatur nie über 33° ſtieg, als die Luft 17° Cent. warm war; bei einer gleichen Bleiſtange ſtieg die Wärme in $1\frac{1}{4}$ Fuß Entfernung nie über 28°, bei Marmor in eben der Entfernung nur auf 19°.[2] Holz erwärmt ſich in ſolchen Entfernungen gar nicht mehr, wenn es auch am Ende verkohlt. Die Holzarten zeigen hier eine eigenthümliche Merkwürdigkeit, nämlich die, daß ſie nach der Länge der Faſern die Wärme viel beſſer fortpflanzen als ſenkrecht auf die Faſern, und dieß ſo ſehr, daß z. B. Eichenholz an einer Stelle auf 82 Gr. Cent. erhitzt in $\frac{3}{4}$ Zoll Entfernung noch 41, in $1\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung noch $17\frac{1}{2}$ Gr. Wärme zeigte, wenn der Stab nach der Länge der Fibern geſchnitten war, dagegen bei faſt ebenſo ſtarker Erwärmung in jenen beiden Entfernungen nur 23 Gr. und $7\frac{1}{2}$ Gr., wenn der Stab quer auf die Fibern geſchnitten war. Dieſe Verſchiedenheit ſcheint ſehr in Betrachtung zu kommen bei der Kälte, welche die Gewächſe im Winter zu ertragen im Stande ſind, indem das Innere der Bäume nur durch eine Leitung quer gegen die Fibern, alſo ſehr langſam, der Abkühlung unterworfen iſt, und dieſes offenbar vortheilhaft iſt, damit der Wechſel in der Spannung der Gefäße nicht ſogleich bei jedem Wechſel der Temperatur eintrete, ſondern allmälig und nicht oft wechſelnd. Die Bäume erkalten zwar im Innern bis unter den Gefrierpunkt und die Säfte ſind dann zu Eis geworden, aber es ſcheint, daß jene langſame Leitung hier dennoch von weſentlichem Nutzen iſt,[3] ſo wie ja auch gefrorne Körper, Aepfel und dergl. nicht

[1] Ure wiederholte die Verſuche und fand folgende Reihe: Silber, Kupfer, Meſſing, Eiſen = Zinn, Gußeiſen, Zink, Blei. (M.)

[2] Die Reihenfolge der Metalle iſt nach Desprez: Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eiſen, Zink, Zinn, Blei. Ihre relativen Leitungsfähigkeiten ſind nach ſeiner Rechnung: 100, 98, 97, 90, 37, 36, 30, 18. Dagegen ſetzt Fiſcher übereinſtimmend mit Ingenhouß, das Gold dem Kupfer nach; auch dem Platin räumen andere Phyſiker keine ſo hohe Stelle wie Desprez ein, z. B. nach Forbes ſteht es zwiſchen Eiſen und Zinn. (M.)

[3] Eine große Anzahl von Beobachtungen über die Veränderungen der Gewächſe bei der Kälte und über ihr Erfrieren finden ſich in: Göppert über die Wärmeentwickelung der Pflanzen, ihr Gefrieren u. ſ. w. Breslau 1830.

ſehr leiden, wenn man ſie in kaltem Waſſer ſehr langſam ſich bis über den Gefrierpunkt erwärmen läßt.

Die Rückſicht auf die Wärmeleitung kömmt in unzähligen Fällen des gemeinen Lebens vor. Unſre warmen Kleider ſind darum erwärmend, weil ſie ſchlechte Wärmeleiter ſind und daher die durch die Lebensfunctionen entwickelte thieriſche Wärme nicht entweichen laſſen, und wir ziehen daher diejenigen Körper, welche die Wärme am ſchlechteſten leiten, wie Wolle und Pelzwerk, den übrigen vor. Wir bedecken Körper mit Stroh, um ſie gegen den Froſt zu ſichern, weil Stroh die einmal in jenen Körpern enthaltene Wärme nicht leicht entweichen läßt; aber ebenſo gut können wir im Sommer Eiskeller mit Stroh bedecken, um den Zutritt der Wärme zu hindern. Thon leitet die Wärme ſchlechter als Eiſen, daher erwärmt ſich ein Ofen mit Thonwänden langſam; aber iſt ein ruſſiſcher Ofen mit 6 Zoll dicken Wänden einmal durchgewärmt, ſo erhält er ſich lange warm und theilt dem Zimmer lange Zeit Wärme mit. Mehrere Schichten ſchlecht leitender Körper halten die Wärme noch beſſer als eine einzelne dickere Schicht zuſammen, theils weil die zwiſchen den Schichten enthaltene Luft ein ſchlechter Wärmeleiter iſt, theils weil die Wärme bei jedem Uebergange in einen neuen Körper ein Hinderniß ihres Ueberganges findet und theilweiſe zurückgeworfen wird. In der ſchlechten Wärmeleitung liegt auch der Grund, warum ein Glas dem Zerſpringen durch Erhitzung nicht ſo ſehr ausgeſetzt iſt, wenn man ein Blatt Papier zwiſchen das Glas und den heißen Körper legt.

Einige Phyſiker haben die Wärmeleitung der Körper darnach zu beurtheilen geſucht, daß ſie beobachteten, in welcher Zeit ein Körper gewiſſe Grade der Erwärmung annähme oder verlöre; es iſt aber offenbar, daß hiebei zwar die Wärmeleitung mit in Betrachtung kommt, aber doch auch noch andere Umſtände mit einwirken, von denen ich bald mehr ſagen werde.

In den flüſſigen Körpern wird die Mittheilung der Wärme vorzüglich durch Strömung bewirkt, und dieſe richtige Bemerkung führte Rumford zu dem unrichtigen Schluſſe, daß eine eigentliche Wärmeleitung in flüſſigen Körpern gar nicht ſtatt finde. Es iſt wahr, daß die durch die Wärme ausgedehnten Theilchen des Flüſſigen ſogleich nach oben zu fortrücken, während die kälteren herabſinken, daß dadurch eine Miſchung der wärmern und kältern Theilchen entſteht und ſich ſchwer beurtheilen läßt, in welchem Grade die entferntern flüſſigen Theile erwärmt werden würden, wenn die Erhaltung einer völligen Ruhe möglich wäre; indeß ſetzt doch dieſe in den flüſſigen Theilchen bei der Berührung hervorgebrachte Erwärmung ſchon eine Mittheilung, alſo eine Zuleitung, voraus, und die Meinung, daß flüſſige Körper im ſtrengſten Sinne die Wärme gar nicht leiten, iſt ſomit faſt von ſelbſt widerlegt. Aber langſam und ſchwach iſt die Wärmeleitung in flüſſigen Körpern freilich, und dieſes hat Rumford bewieſen. Als Beweis dafür giebt er mit Recht die Erfahrung an, daß von Feuchtigkeit durchdrungene Körper, wo die feſten Theile die Bewegung hindern, ſehr langſam erkalten. Es iſt bekannt, daß

breiartige Speiſen, gebratene Aepfel und dergl. im Innern ſehr lange heiß bleiben, wenn die Oberfläche auch abgekühlt iſt, daß hier alſo die Leitung, die Mittheilung von Theilchen zu Theilchen, ſehr ſchwach iſt, wodurch allerdings gezeigt wird, daß flüſſige Theilchen wenig zu dieſer Mittheilung geeignet ſind.

Rumford hat dieß durch einige merkwürdige Verſuche anderer Art noch mehr gezeigt. Er füllte ein 14 Zoll hohes cylindriſches Gefäß mit 6 Pfund kochend heißem Waſſer und legte eine nach der Weite des Gefäßes ausgeſchnittene, die Oberfläche faſt ganz bedeckende Eisſchicht von 3½ Zoll Dicke (20¼ Loth ſchwer) oben auf dieſes Waſſer; das Eis war in nicht völlig 3 Minuten ganz zerſchmolzen. Wurde dagegen eine eben ſolche Eisſcheibe auf dem Boden des Gefäßes befeſtigt und nun heißes Waſſer vorſichtig aufgegoſſen, [1] ſo vergingen 2 Stunden, ehe die Hälfte des Eiſes geſchmolzen war; ja das Waſſer behielt in der Nähe des Eiſes eine ſo große Wärme, daß es in 1 Zoll Entfernung über der Eisfläche nach 12 Minuten faſt noch ebenſo warm als oben, nämlich 77° Cent. warm war, obgleich ganz nahe an der Oberfläche des Eiſes das Waſſer bis auf 5° Cent. abgekühlt gefunden wurde. Hier hatte alſo eine nur ſehr ſchwache Zuleitung der Wärme ſtatt gefunden, und die Schmelzung war, wie Rumford zeigt, vorzüglich durch das Hinabſinken der nicht völlig bis zum Gefrierpunkte, ſondern bis zur größten Dichtigkeit, abgekühlten Waſſertheilchen bewirkt worden; die am Eiſe anliegenden Theilchen werden nämlich abgekühlt, weil aber die ein wenig höher liegenden Theilchen nicht ganz ſo ſehr abgekühlt, aber ſchwerer als dieſe ſind, ſo ſinken ſie herab, ſchmelzen das Eis an und machen, nachdem ſie völlig die Eiskälte erlangt haben, wieder andern herabſinkenden Waſſertheilchen, die nicht ganz ſo kalt ſind, Platz. In der That alſo zeigt alles dieſes, daß die Wärme im Waſſer nach unten zu ſehr langſam fortgepflanzt wird, die nach oben gehende Fortpflanzung aber gewiß großentheils auf Strömungen beruht. Indeß hat man ſich bemüht zu zeigen, daß eine wirkliche Leitung dennoch in einigem Grad ſtatt findet, um Rumford's Behauptung einer gänzlich fehlenden Leitung zu widerlegen. So zeigt z. B. ein Verſuch von Murray die Fortleitung der Wärme im Oele, wo ein Hinabſinken wärmerer Theile nicht ſtatt findet, weil die Dichtigkeit bei der Abkühlung immerfort zunimmt. Murray bediente ſich eines ausgehöhlten Eiscylinders, in welchen Mandelöl gegoſſen wurde; ein Thermometer, deſſen Kugel ſich 1 Zoll unter der Oberfläche des Mandelöls befand, war bis auf 0° geſunken, und nun wurde ein mit kochendem Waſſer gefülltes Metallſchälchen mit der Oberfläche des Oeles in Berührung gebracht; der Erfolg war, daß das Thermometer in 15 Minuten um 1⅓° Cent. ſtieg, und dieſes mußte doch als wirklicher Erfolg der Leitung angeſehen werden, die freilich ſehr ſchwach iſt, wenn wir damit die weit ſchnellere Fortpflanzung durch feſte Körper vergleichen.

[1] Um das Zerſpringen des Glaſes zu hindern, befand ſich ſchon etwas kaltes Waſſer oberhalb des Eiſes, damit das heiße Waſſer ſich mit dieſem miſche.

Auf die Eigenſchaft der flüſſigen Körper, durch ihre Strömungen den Körpern Wärme zu entziehen, muß man vorzüglich Rückſicht nehmen, wenn man die Abkühlung feſter Körper in der Luft richtig beurtheilen will. Dieſe Abkühlung hängt von drei Umſtänden ab: von der durch Strahlung an der Oberfläche verloren gehenden Wärme, von der durch Leitung in der Luft, vorzüglich durch die in ihr entſtandene Strömung, fortgeführten Wärme, und von der Schnelligkeit des Erſatzes an Wärme, die aus dem Innern des Körpers der Oberfläche zugeführt wird. Dulong und Petit haben dieſe Umſtände einzeln berückſichtigt und ſo die wahren Geſetze der Abkühlung in der Luft gefunden. Um hiebei den Umſtand auszuſchließen, daß bei feſten Körpern die Wärme nicht ohne allen Zeitverluſt aus dem Innern der Oberfläche fortgeführt wird oder daß die eigenthümliche Leitung nicht ſo ſehr ſchnell iſt, bedienten ſie ſich einer mit Queckſilber gefüllten Glaskugel, die dann ſelbſt auch als Thermometer diente und die nach beſtimmtem Zeitverlaufe noch übrige Temperatur angab; Thermometerkugeln von verſchiedener Größe zeigten ein gleiches Geſetz des Wärmeverluſtes, indem zum Beiſpiel bei der einen wie bei der andern der Wärmeverluſt in 1 Minute, wenn die Kugel 100° wärmer als der umgebende Raum war, doppelt ſo viel betrug als bei einer Erwärmung von 60 Gr. und ungefähr 8mal ſo viel als bei einer Erwärmung von 20 Gr. Dieſes Geſetz des verhältnißmäßigen Fortgangs der Abkühlung blieb auch bei andern in die Kugel eingeſchloſſenen Flüſſigkeiten gleich, obgleich das Queckſilber ſich ſchneller als Waſſer abkühlte und die größere Queckſilberkugel längere Zeit zur Abkühlung brauchte, als die kleinere.

Nach dieſen vorläufigen Verſuchen, die deutlich anzugeben ſchienen, daß die innere Leitungsfähigkeit dieſer Flüſſigkeiten keinen erheblichen Einfluß auf das Geſetz der Abkühlung habe, wurden nun zuerſt Verſuche im luftleeren Raume, wo alſo bloß durch Ausſtrahlung Wärme verloren ging, angeſtellt. Aber hier zeigte ſich, daß nicht, wie man gewöhnlich annimmt und nach Newton's und Richmann's Regel zu rechnen pflegt, der Wärmeverluſt in gleichen ſehr kurzen Zeiten der Wärmedifferenz proportional iſt, ſondern, wenn das Queckſilber 240° warm war, der umgebende leere Raum aber auf 0° erhalten wurde, ſo betrug der Wärmeverluſt in jeder Minute 3½mal ſo viel, als wenn das Queckſilber 120° war und der leere Raum 0° blieb, und ſo bei andern Verſchiedenheiten der Temperatur.

Die einfache Regel ſollte hier für eine längere Zeit allmäliger Abkühlung die ſeyn, daß, wenn man den Wärmeverluſt für 60 Gr. und 80 Gr. Temperaturunterſchied kennte, man den für 100 Gr. als in gleichem Verhältniſſe wachſend fände, daß nämlich, wenn der bei 80° zum Beiſpiel gleich 7/6 des Verluſtes bei 60 Gr. iſt, auch wieder der bei 100 Gr. Unterſchied gleich 7/6 des Verluſtes bei 80 Gr. wäre; aber dieſes Geſetz findet im eingeſchloſſenen Raume wegen der Zurückſtrahlung von dem umſchließenden Gefäße nicht ganz ſtatt, ſondern die Abkühlung geht langſamer fort. Bei den Verſuchen von Dulong und Petit findet man, daß hier das Gefäß 2 Grad

Wärme zurückgab, ſo daß man, wenn die Kugel 80 Gr. warm, das Gefäß aber auf 0° abgekühlt war, den Wärmeverluſt in 1 Minute im offenen Raume = 3,7 Gr. ſetzen mußte, da er ſich im Gefäße 1,7 Gr. fand. Hier ergab ſich nun, daß bei einer um 20 Gr. zunehmenden Wärmedifferenz der Verluſt in 1 Minute um 1 Sechstel ſtieg, alſo $\frac{7}{6} . 3,7 = 4,3$ Gr. im ganz unbegrenzten Raume geweſen wäre, mithin nur = 2,3 Gr. in jenem begrenzten Raume. Ebenſo rechnet man wieder, wenn die Kugel 120 Gr. warm iſt und der umgebende Raum 0° bleibt, daß $\frac{7}{6} . 4,3 = 5,0$ Gr. Verluſt im leeren Raume, 3,0 Gr. Verluſt in dem Gefäße ſeyn müßte; bei 140 Gr. wieder $5,0 . \frac{7}{6} = 5,8$, alſo im Gefäße 3,8 Gr. und ſo weiter, und ſo ergaben es auch die Verſuche. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß dieſe Herabſetzung der Abkühlung nicht in allen Fällen 2 Gr. beträgt, ſondern mehr, wenn das Gefäß wärmer iſt, ſo daß bei 20 Gr. Wärme des Gefäßes und 100 Gr. Wärme des abkühlenden Körpers die Abkühlung etwas langſamer von ſtatten geht, als wenn jene 0° und dieſe 80° iſt.

Wenn die Thermometerkugel mit Silber überzogen, alſo gegen das Ausfließen ſowohl als gegen das Eindringen der ſtrahlenden Wärme mehr geſichert war, ſo betrug die Abkühlung nicht ſo viel, und auch der Einfluß des Gefäßes war geringer. Bei den von Dulong und Petit angeſtellten Verſuchen war die ſtrahlende Wärme 5½mal ſo groß, wenn eine reine Glasoberfläche, als wenn eine mit Silber überzogene Glasoberfläche angewandt ward, und nach Leslie's Verſuchen bei polirtem Silber noch bedeutend größer. Jene Regel gilt offenbar in Rückſicht auf die beſtimmten Zahlen nur unter den Umſtänden, die bei dem Verſuche gerade ſtatt fanden; aber die Regel, daß man bei gleicher Zunahme der Wärmeunterſchiede mit einer immer gleichen Zahl multipliciren muß, um den Wärmeverluſt im leeren Raume zu finden, beſteht für alle Fälle.

In der Luft kömmt die oben erwähnte zweite Urſache der Abkühlung hinzu; man kann da den Wärmeverluſt in 1 Minute anſehen als zuſammengeſetzt aus dem, was im leeren Raume ſtatt finden würde, und aus dem Antheil Wärme, den die Luft fortführt. Dieſer letztere Antheil iſt gleich, es mag die Glasoberfläche frei oder mit Silber belegt ſeyn, er hat alſo mit der größern oder geringern Neigung, die Wärme ſtrahlend zu entlaſſen, keine Verbindung; aber in verſchiedenen Luftarten iſt dieſer durch die Luft bewirkte Wärmeverluſt ungleich, und beſonders im Waſſerſtoffgas ſehr groß, indem er dort über dreimal ſo viel als in der atmoſphäriſchen Luft bei gleicher Elaſticität beider Luftarten beträgt.[1]

Mit Hülfe dieſer Verſuche ließen ſich nun auch aus den mit unermüdlichem Fleiße angeſtellten Verſuchen Böckmann's[1] über die Abkühlung der Körper etwas regelmäßigere Reſultate ableiten. Auch ſie zeigen den Einfluß der Oberfläche auf die durch Strahlung verloren gehende Wärme; aber die drei bei der Abkühlung einwirkenden Urſachen ſind hier nicht gehörig getrennt,

[1] Böckmann's Verſuche über die Wärmeleitung. Carlsruhe 1812.

und daher haben dieſe an ſich höchſt ſchätzenswerthen Verſuche nur wenig reine Ergebniſſe geliefert.

Ungleiche Leitung der Wärme.

Ich knüpfe hieran einige andre noch nicht erklärte Erſcheinungen, die eine unter gewiſſen Umſtänden ſehr verſchiedene Wärmeleitung zu verrathen ſcheinen. Wenn man einen am Stiele mit der Hand gehaltenen ſilbernen Löffel über einer Lichtflamme erhitzt, bis die Hand den Stiel mäßig warm fühlt, dann aber den Löffel von der Flamme entfernt, ſo ſteigt die Hitze des Stiels ſchneller, als wenn man fortwährend die Flamme hätte einwirken laſſen. Man ſollte eher das Gegentheil erwarten, da die abkühlende Luft einen Aufwand an Wärme zu fordern ſcheint. Fiſcher, der auf dieſe Sonderbarkeit aufmerkſam macht, theilt noch andere Verſuche mit, die ebenfalls auffallend ſind. Wenn man gleiche Stückchen von Silber und Platin durch eine mäßige Wärme, zum Beiſpiel die des kochenden Waſſers, erhitzt, ſo ſcheinen ſie die Wärme ziemlich gleich gut zu leiten, ein Wachsüberzug wird am einen nicht viel weiter als am andern weggeſchmolzen; bringt man aber die Enden in eine Flamme, ſo leitet Silber die Wärme viel weiter als Platin, obgleich das letztere glühend wird, und erſt dann, wenn man das glühende Platin aus der Flamme herausnimmt, theilt ſich die Wärme dem andern Ende ſchneller mit, als während das Glühen in der Flamme unterhalten ward. Es ließen ſich wohl noch mehr Erſcheinungen ſammeln, die eine von den gewöhnlichen Geſetzen abweichende Bewegung des Wärmeſtoffs in den Körpern andeuten; [1] aber da ſie noch allzu vereinzelt daſtehen und keine genaue Erklärung geſtatten, ſo ſcheint es mir nicht angemeſſen, länger dabei zu verweilen.

Fourier's Unterſuchungen über die Fortpflanzung der Wärme.

Man hat früher nur wenige Verſuche gemacht, die Fortpflanzung der Wärme nach mathematiſchen Regeln zu beſtimmen, und ich werde daher nur etwas von dem erwähnen, was in neuerer Zeit hierüber von Fourier als Reſultat ſehr tiefſinniger Unterſuchungen bekannt gemacht worden iſt, obgleich Fourier's Unterſuchungen zum Theil ſchon von Newton und nachher von Lambert und andern Phyſikern (jedoch nur ſehr unvollkommen) vorbereitet worden ſind.

Damit man das, was hier beſtimmt werden ſoll, richtig auffaſſe, ſtellt Fourier zuerſt folgende Betrachtungen an. Wenn ein Ring, zum Beiſpiel ein metallener, einer Luft von 0° Wärme ausgeſetzt iſt und dieſem an einer einzigen Stelle aus einer dort angebrachten Wärmequelle unaufhörlich Wärme zuſtrömt, ſo werden nach und nach wegen der Wärmeleitung auch die

[1] Es gehört dahin die als ganz ſicher angegebene Erfahrung, daß ein in einem irdenen Topfe oder Napfe oder metallenen Keſſel zum recht ſtarken Kochen gebrachtes Waſſer im Augenblicke des Abhebens vom Feuer den Boden des irdenen Topfes oder Napfes oder Keſſels ſo abkühle, daß man ihn mit der Hand berühren könne, gleich nachher aber dem Boden wieder die volle Hitze ertheile.

entfernteren Theile des Ringes eine höhere Temperatur annehmen. Aber dieſe Temperaturerhöhung (abgeſehen davon, worauf ich erſt in der Folge komme, daß gleiche Wärmequantitäten nicht in allen Körpern verſchiedener Art gleiche Temperaturerhöhungen hervorbringen) iſt von zwei Umſtänden abhängig: theils von jenem Herzuſtrömen der Wärme im Innern, theils von dem Verluſte an Wärme, der durch Ausſtrahlung und durch die umgebende kalte Luft hervorgebracht wird. Nach längerer Dauer der Einwirkung jener ſtets gleichen Wärmequelle entſteht ein Beharrungsſtand, das heißt, Thermometer, die in verſchiedenen Punkten des Ringes angebracht ſind, haben nun die Höhe erreicht, welche ſie überhaupt erlangen können, und wir fordern von der Theorie, daß ſie angebe, in welchem Grade ungleich dann die Temperatur in den verſchiedenen Punkten des Rings iſt und unter welchen Umſtänden die von der Wärmequelle her zuſtrömende und die an der Oberfläche in die kalte Luft ſich zerſtreuende Wärme einander genau ausgleichen. Eine andre Frage würde die ſeyn, wie im Fortgange der Zeit, ehe der Beharrungsſtand erreicht wird, ſich in einem beſtimmten Punkte die Wärme ändert, und ferner wie, bei aufhörendem Zufluß neuer Wärme, die nun allmälig abnehmende, doch aber von dem erhitzten Punkte aus ſich noch verbreitende Temperatur ſich verhält. Die Beantwortung dieſer und ähnlicher Fragen hängt von der Kenntniß der Mittheilung der Wärme von Theilchen zu Theilchen im Innern des feſten Körpers, aber auch von der Kenntniß des Wärmeverluſtes an der Oberfläche ab; dieſer Wärmeverluſt beſteht theils aus der ausſtrahlenden, theils aus der den unmittelbar anliegenden Theilchen mitgetheilten Wärme, und dieſe letztere iſt wegen des entſtehenden Strömens und der dadurch bewirkten Herzuführung kalter, abermals Wärme raubender Theilchen ein vorzüglicher Grund der ſchnellen Abkühlung.

Auch im Innern der Körper kann man die Fortpflanzung der Wärme von einem Theilchen zum andern als durch Strahlung entſtehend anſehen, nur findet hier die Verſchiedenheit ſtatt, daß die durch unmerklich kleine Zwiſchenräume getrennten Theilchen feſter Körper die durch Strahlung auf ſie fallende Wärme ſogleich aufnehmen und am weitern Fortgange als ſtrahlende Wärme hindern. Da, wo die Wärme aus dem Innern des Körpers hervorzudringen im Begriff iſt, wird ſie zum Theil nach demſelben zurückgeworfen, und eben die Kraft, welche die von außen kommenden Wärmeſtrahlen zum Theil reflectirt und am Eindringen hindert, bewirkt hier eine Zurückwerfung nach dem Innern. Fourier ſetzt umſtändlich aus einander, daß die Wärmeſtrahlen, welche von innen hervordringend die Oberfläche ſenkrecht treffen, dieſe in verhältnißmäßig größerer Zahl durchdringen, und daß die Intenſität der hervordringenden Wärme proportional der gegen die Oberfläche ſenkrechten (aus der Zerlegung der wahren Bewegung als ſenkrecht gegen die Oberfläche hervorgehenden) Geſchwindigkeit iſt. Dieſe Betrachtungen beruhen auf dem vorhin angegebenen gegenſeitigen Austauſche, der zwiſchen Körpern von gleicher Temperatur ſtatt findet und der ohne Zweifel einen gegenſeitigen Erſatz der

verlornen Wärme giebt, die Geſtalt der Körper und die Beſchaffenheit ihrer Oberfläche ſey, welche man wolle.

Als Princip der Mittheilung der Wärme nimmt Fourier an, daß ſie dem Unterſchiede der Temperaturen verhältnißmäßig ſey. Wenn zwei einander ſehr nahe Theilchen eines feſten Körpers in verſchiedenen Fällen um gleich viel an Wärme verſchieden ſind, ſo iſt die dem einen Punkte ertheilte Veränderung der Temperatur gleich groß, beide Körper mögen ſehr warm oder wenig warm ſeyn; iſt die Differenz der Temperatur doppelt ſo groß, ſo iſt auch die in gleicher, kurzer Zeit vom einen Punkte dem andern ertheilte Wärme doppelt ſo groß, und ſo in allen Fällen. Eben dieſes Geſetz können wir auch als für den Wärmeverluſt an der Oberfläche geltend anſehen, daß nämlich derſelbe bei einerlei Körpern ſich verhält wie der Unterſchied der Temperatur des Körpers ſelbſt und des umgebenden Raumes; ganz genau kann dieſes Geſetz nicht gültig ſeyn, da die Stärke des Luftſtromes, wenn der Körper in der Luft abkühlt, ſich bei zunehmender Differenz der Wärme ändert, aber es wird bei nicht zu großen Temperaturunterſchieden gültig bleiben. Aus dieſem Grunde geht die Abkühlung nach und nach immer langſamer fort, indem der 20 Grad über die Temperatur der Luft erwärmte Körper doppelt ſo viel Wärme verliert, als der nur noch um 10 Grad erwärmte.

Die einfachſte Betrachtung, die in Hinſicht auf die Wärmeleitung vorkommen kann, findet da ſtatt, wo ein ſehr breit ausgedehnter Körper durch zwei parallele Oberflächen begrenzt wird, deren eine in immer gleicher hoher Temperatur, die andre in immer gleicher niedriger Temperatur erhalten wird. Hier zeigt die Theorie, daß, nach längerer Dauer des von außen unterhaltenen Zuſtandes, die Abnahme der Temperatur in den zwiſchenliegenden Schichten den Abſtänden proportional iſt, alſo in der mittlern Schicht genau die mittlere Temperatur zwiſchen jenen äußerſten ſtatt findet. Dieß gilt nämlich da, wo die Seitengrenzen des nach allen Seiten ſehr weit ausgedehnten Körpers ſo ſehr entfernt ſind, daß man den Einfluß der durch jene Seitengrenzen verloren gehenden Wärme als nicht in Betrachtung kommend anſehen kann.

Daß dieſes ſo iſt, wird durch die Gleichheit der von einer Seite zuſtrömenden und von der andern Seite abfließenden Wärme bewieſen. Es wird auch gezeigt, daß dieſer Wärmeſtrom in irgend einer Zwiſchenſchicht deſto lebhafter iſt, je größer die Wärmedifferenz der beiden Grenzſchichten und je kleiner der Abſtand derſelben von einander iſt. Alle dieſe Folgerungen ſind ſehr einfach, aber doch durch die genaue theoretiſche Ableitung merkwürdig, da der Grund, warum ſie ſtatt finden, hier ſtreng erhellt.

In dieſem Falle konnten wir die Strömung der Wärme als nur nach einer Richtung gehend anſehen, da die ſo breit ausgedehnten Grenzflächen uns geſtatteten, die Seitenflächen als gar nicht einwirkend anzuſehen; der folgende Fall iſt ſchwieriger. Von einem ſehr langen Stabe werde das eine Ende immer gleich warm erhalten, während ſeine übrige Oberfläche ſich in der kalten Luft befindet. Hat hier die allmälige Erwärmung der entferntern

Theile einen gewiſſen Grad erreicht, ſo verlieren alle Punkte der Oberfläche Wärme, die in die Luft übergeht, und wenn wir irgendwo uns eine Querſchnittsfläche des Stabes denken, ſo geht durch dieſe in jedem Augenblicke eine gewiſſe Wärmemenge von der Wärmequelle aus hindurch, theils um den an der Oberfläche des entfernteren Theiles ſtatt findenden Wärmeverluſt zu erſetzen, theils um dieſen entferntern Theil nach und nach mehr zu erwärmen. Dauert dieſes eine ſehr lange Zeit hindurch fort, ſo daß die Erwärmung am einen Ende unverändert erhalten wird und auch die umgebende Luft unerwärmt ihre niedrigere Temperatur behält, ſo tritt immer mehr und mehr der Beharrungsſtand in dem ganzen Stabe ein, welcher dann ſtatt findet, wenn die in irgend einem Querſchnitte durchſtrömende Wärmemenge grade ſo groß iſt, als der geſammte im jenſeitigen Theile ſtatt findende Wärmeverluſt, welcher nämlich durch den Uebergang der Wärme in die Luft hervorgebracht wird. Für dieſen Beharrungsſtand übertrifft alſo die durch irgend einen Querſchnitt ſtrömende, nach der Richtung des Stabes fortgehende Wärmemenge die durch einen entfernteren Querſchnitt ſtrömende um ſo viel, als der Wärmeverluſt durch die zwiſchen beiden Querſchnitten liegende Oberfläche beträgt, und in dieſer Regel iſt die rechnende Beſtimmung der für jeden Querſchnitt paſſenden Temperatur im Beharrungsſtande gegeben. Die Wärme, die man für den Beharrungsſtand in beſtimmten Entfernungen von der Wärmequelle erhält, iſt größer bei dickeren Stäben von ähnlichen Querſchnitten, weil da der Verluſt an die Luft in Vergleichung gegen die im Innern fortſtrömende Wärme geringer iſt; die oft angeführte Erfahrung, daß ein bis zum Glühen erhitzter Eiſenſtab in 6 Fuß Entfernung ſich kaum um 1° erhitzt, würde bei ſehr dicken Stäben ſich nicht ganz beſtätigt finden, ſondern da würde eine größere Wärme in gleichen Entfernungen fühlbar ſeyn. — Eben die Bemerkung gilt alſo auch in Beziehung auf die vorhin angeführten Verſuche von Despretz.

Eine dritte von Fourier angeſtellte Betrachtung betrifft die Frage, welche Erwärmung die Luft in einem eingeſchloſſenen Raume annehmen wird, wenn die umſchließende Hülle außen mit kalter Luft umgeben iſt, im Innern jener zu erwärmenden Luft aber ſich ein heißer Körper befindet. Daß hier nach erlangtem Beharrungsſtande der Unterſchied der Temperatur, um welchen die Luft im Innern die äußere an Wärme übertrifft, dem Wärmeunterſchiede der Wärmequelle und der äußern Luft proportional ſeyn muß, erhellt von ſelbſt; aber nicht ſo unmittelbar leuchtet es ein, warum zwei gleiche Wärmequellen nicht geradezu jene Erwärmung der innern Luft (den Temperaturunterſchied zwiſchen ihr und der äußern) verdoppeln. Und doch ſieht man auch hier leicht ein, daß bei höher ſteigender Wärme der innern Luft auch der Wärmeverluſt durch die äußere Wand hindurch zunimmt, weshalb jene Steigerung der Wärme, durch zwei Wärmequellen hervorgebracht, um ſo weiter von der Verdoppelung der Wärmezunahme entfernt bleiben wird, je beſſer die äußere Wand geneigt iſt, die ihr zuſtrömende Wärme von innen aufzunehmen, in ihrer eignen Maſſe fortzuleiten und außen wieder zu entlaſſen; nur da alſo, wo die Umhüllung

aus einer ſchlecht leitenden Materie beſteht, und wo ſie innen und außen eine polirte Oberfläche hat, um das Aufnehmen und Entlaſſen der Wärme zu erſchweren, kann man einigermaaßen darauf rechnen, daß zwei, drei Wärmequellen u. ſ. w. in regelmäßiger Steigerung die Temperatur des innern Raumes über die der äußeren Luft erheben. Freilich ſind dieß Folgerungen, die ſich faſt von ſelbſt zu verſtehen ſcheinen, die aber doch, was die genaue Maaßbeſtimmung betrifft, erſt theoretiſch gefunden werden mußten. Und ebenſo, wie hier die Wirkung mehrerer Wärmequellen beſtimmt wird, ſo läßt ſich auch der Vortheil, den mehrere Umhüllungen gewähren, durch die hier angedeutete Rechnung angeben, und beſtimmen, in welchem Maaße die Wärmequelle weniger Wärme verliert, wenn der ſie umgebende Raum durch eine Umhüllung oder durch mehrere Umhüllungen gegen den Wärmeverluſt geſichert iſt, als im entgegengeſetzten Falle. Fourier bemerkt mit Recht, daß zwar im Allgemeinen auch ohne genauere Theorie erhelle, daß ein ſolcher Unterſchied ſtatt finden müſſe, aber daß die Abmeſſung dieſes Unterſchiedes doch erſt ſich aus einer ſtrengen Theorie ergebe.

Dieſe Unterſuchungen betrafen den nach längerer Einwirkung gleichmäßiger Wärme allemal eintretenden Beharrungsſtand der Wärme; aber auch von den Geſetzen der nach und nach erfolgenden Veränderungen des Wärmezuſtandes handeln Fourier's Unterſuchungen. Ich will in Beziehung auf dieſe nur den Fall erwähnen, wo ein kreisförmiger Ring, deſſen einzelne ſehr kleine Querſchnitte in jedem Punkte gleich erwärmt ſind, an verſchiedenen Punkten einen beliebigen Grad ungleicher Wärme erhalten hat, während er einer kalten Luft ausgeſetzt iſt. Wir nennen denjenigen Zuſtand den anfänglichen, für den wir die Austheilung der Wärme als durch irgend ein Mittel willkührlich hervorgebracht anſehn, und fragen nun, wie die Austheilung der Wärme ſich im Laufe der Zeit ändert. Fände an der Oberfläche gar keine Zerſtreuung der Wärme ſtatt, ſo würde die Austheilung der Wärme, ſofern ſie im anfänglichen Zuſtande ungleich war, im Laufe der Zeit eine andre, mehr zur Gleichheit hinneigende werden, und die Theorie muß lehren, das Geſetz der Austheilung der Wärme zu beſtimmen. Hier ergiebt nun die Rechnung den merkwürdigen Schluß, daß die Regel der Wärmeaustheilung in den verſchiedenen Gegenden des Ringes dieſelbe bleibt, es mag ein Verluſt an der Oberfläche ſtatt finden oder nicht. Man kann dieſe Regel ſo überſehen. Da wir den Ring als ſehr dünn anſehen, um jeden einzelnen Querſchnitt als in allen Punkten gleich erwärmt betrachten zu dürfen, ſo iſt hier von einem Unterſchiede der Wärme nach Maaßgabe des tiefern Eindringens in das Innere nicht die Rede, das Geſetz der Wärmeaustheilung bezieht ſich alſo nur auf die Länge des Ringes. War nun zu Anfang der Ring überall gleich erwärmt, ſo bleibt dieſe Wärme ungeändert gleich, wenn die Oberfläche gar keinem Verluſte ausgeſetzt iſt, ſie erleidet dagegen überall eine Verminderung, iſt aber doch in den verſchiedenen Punkten in jedem folgenden Augenblicke gleich viel vermindert, wenn ein Verluſt an der Oberfläche ſtatt findet, und das Geſetz der Austheilung

iſt in beiden Fällen das Geſetz der Gleichheit. Ebenſo, wenn gewiſſe erwärmte Querſchnitte den übrigen Wärme mittheilen, ſo würde es, bei gänzlich weggedachtem Verluſte an der Oberfläche, Punkte geben, die in beſtimmtem Maaße minder erwärmt, andre dagegen, die noch weniger erwärmt wären; und eben dieſes Geſetz der Erwärmung findet ungeändert, obgleich mit herabgeſetzter Wärme für alle Punkte, ſtatt, wenn die Oberfläche Wärme verliert.

Dieſes Geſetz der Austheilung der Wärme iſt im ganzen Verlaufe der allmäligen Ausgleichung derſelben ein anderes, je nachdem die anfängliche Erhitzung eine andre war, indem zum Beiſpiel bei anfänglicher Erhitzung in einem Punkte das Geſetz der Austheilung auch ſpäterhin anders ſeyn muß, als bei der anfänglichen Erhitzung in zwei oder drei Punkten. Dieſes Geſetz der Austheilung der Wärme iſt gewöhnlich im Fortgange der Zeit veränderlich, weil, zum Beiſpiel wenn nur ein Punkt erhitzt war, ſpäterhin eine mehr zur Gleichförmigkeit hinneigende Austheilung der Wärme ſtatt findet; aber die Rechnung giebt an, daß es gewiſſe Geſetze der Austheilung der Wärme giebt, wo ſchon im erſten Augenblicke die Austheilung ſo iſt, daß ſie auch nachher, den Verhältniſſen nach ebenſo, obgleich dem Grade nach abnehmend, fortbeſtehen muß. An dieſe Fälle knüpft ſich das Geſetz der im Fortgange der Zeit eintretenden Austheilung der Wärme auch für alle andern, regelmäßig oder unregelmäßig ertheilten, anfänglichen Erhitzungen an, indem ein Hinſtreben zu derjenigen Austheilung der Wärme, wie ſie den vorhin erwähnten Fällen entſpricht, auch in allen übrigen Fällen ſtatt findet.

Wenn eine dauernd wirkende Wärmequelle an einem Punkte des Ringes oder mehrere immerfort wirkende Wärmequellen an verſchiedenen Punkten desſelben angebracht ſind, ſo tritt auch hier ein Beharrungsſtand ein und die Theorie führt hier auf folgenden Satz, den Fourier durch Verſuche beſtätigt gefunden hat: Wenn man den zwiſchen zwei Wärmequellen liegenden Theil des Ringes in mehrere gleiche Theile theilt und die Temperatur dreier auf einander folgender Theilungspunkte beſtimmt, ſo iſt die Summe der Thermometerſtände der beiden äußerſten ein gleiches Vielfaches des mittlern, man mag den Verſuch auf den erſten, zweiten, dritten, oder auf den zweiten, dritten, vierten, oder auf den dritten, vierten, fünften dieſer Punkte u. ſ. w. beziehn. Ein ebenſo merkwürdiges von Fourier durch Verſuche beſtätigtes Theorem iſt dieſes: Wie man auch den Ring in verſchiedenen Punkten durch mehrere Wärmequellen erwärme, ſo vergeht, nach der Wegnahme der Wärmequellen, nur eine kurze Zeit, bis die Wärmeaustheilung ſo iſt, daß die Summe der Thermometerſtände in zwei entgegengeſetzten Punkten des Durchmeſſers gleich iſt, das heißt, Thermometer auf 0° und 180°, auf 35° und 215°, auf 90° und 270° geben paarweiſe immer gleiche Summen. Dieſes Theorem beruht darauf, daß die hierin angezeigte Austheilung der Wärme diejenige iſt, die dem einfachſten Geſetze entſpricht, das ich vorhin als ein ſolches erwähnte, welches, einmal entſtanden, während der ganzen Abkühlung fortdauert. In den Verſuchen, die ſich auf das erſte Theorem beziehen, bietet ſich ein Mittel

dar, das Verhältniß der Leitung in dem Ringe ſelbſt zu dem Ausſtrömen von der Oberfläche anzugeben, denn je ſtärker das Ausſtrömen von der Oberfläche in Vergleichung gegen die innere Leitung iſt, deſto größer iſt der Multiplicator, mit welchem man die Grade des mittlern Thermometers multipliciren muß, um die Summe der Grade der beiden nächſten zu erhalten.

Dieſe wenigen Bruchſtücke aus Fourier's Unterſuchungen müſſen hier wohl hinreichen, um von dem Inhalte derſelben einen Begriff zu geben. Daß die Wichtigkeit dieſer Unterſuchungen nicht ganz ſo anerkannt wird, wie ſie es verdienten, und daß man die von Fourier bei Gelegenheit der Theorie der Wärme bekannt gemachten großen Erweiterungen der Lehren der höhern Analyſis faſt als ſein einziges Verdienſt anſieht, ſcheint mir daher zu kommen, daß ſich dieſe theoretiſchen Folgerungen nicht ſo durch Verſuche beſtätigen laſſen, wie es in der Lehre vom Lichte ſo oft der Fall iſt. Die Geſetze, nach welchen die Wärme in den einzelnen Punkten des Körpers ſich austheilt und nach welchen dieſe Austheilung von einem Augenblicke zum andern ſich ändert, ſind durch Verſuche ſchwer nachzuweiſen, indem die thermometriſchen Meſſungen weder ſchnell genug noch zahlreich genug angeſtellt werden können. Das wichtige Theorem, daß ſich der Zuſtand der Wärme immer ſehr bald ſo ordnet, daß er entweder als einem der Zuſtände gemäß oder als einer Zuſammenſetzung der Zuſtände entſprechend angeſehen werden kann, die bei der Abkühlung, in Rückſicht auf das Verhältniß der Temperatur der einzelnen Punkte, gleichmäßig fortdauern, läßt ſich faſt einzig in den Fällen nachweiſen, wo die Austheilung der Temperatur ſchon ſehr einfachen Geſetzen folgt und wo daher jenes Theorem nur ein ſich faſt von ſelbſt verſtehendes Reſultat giebt. Wäre es dagegen möglich, die Erwärmung jedes Punktes ganz genau nach einer ſolchen Regel zu ordnen, wie es einem ſolchen Zuſtande gemäß wäre, und dann zu beobachten, ob bei der Abkühlung ſich eben das Geſetz der Wärmeaustheilung, der fortdauernden Verminderung ungeachtet, erhält, oder könnte man vollends jedem Punkte eine Wärme ertheilen, wie ſie der Summe gemäß wäre, die zwei oder drei ſolchen Wärmeaustheilungen entſpräche, und beobachten, ob im Fortgange der Zeit die überall verminderte Wärme ſich noch immer jener Summe gemäß, den Verhältniſſen nach, zeigte, ſo würde von einer eigentlichen Vergleichung der Theorie mit der Erfahrung die Rede ſeyn können. Aber ſolche Verſuche anzuſtellen iſt bis jetzt unmöglich und wir müſſen uns mit weit unvollkommnern begnügen.

Fourier hat ähnliche Unterſuchungen, wie die über die Austheilung der Wärme in einem Ringe, auch über die Austheilung der Wärme in einer Kugel, in einem prismatiſchen Körper u. ſ. w. angeſtellt, die der Hauptſache nach zu ganz ähnlichen Reſultaten führen. Poiſſon hat einige Gegenſtände durch eine anders angeordnete Darſtellung noch mehr zu erläutern geſucht, aber ſeine Darſtellung hier mitzutheilen ſcheint mir unnöthig, da ſie bei weitem nicht ſo umfaſſend und reich an Reſultaten iſt, als Fourier's Unterſuchungen.

Zweiundfünfzigſte Vorleſung.

Nachdem ich Sie ſo lange ſchon mit Abmeſſungen der Wärme unterhalten habe, iſt es wohl Zeit, einmal zu der Frage überzugehen, ob denn unſre Queckſilberthermometer wirklich zu Abmeſſung der Temperaturunterſchiede ſo geeignet ſind, wie wir es annehmen, ob dieſe Unterſchiede der Temperatur zu den Unterſchieden der den Körpern zugeführten wahren Wärmemenge in unmittelbarer Beziehung ſtehen u. ſ. w.

Beſtimmungen der Grade wahrer Wärmedifferenzen.

Es bietet ſich uns ein leichter Verſuch dar, um Grade wahrer Wärmeunterſchiede zu erhalten, indem doch wohl ganz gewiß ein Pfund Waſſer von 10 Gr. Wärme mit einem Pfunde Waſſer von 30 Gr. Wärme gemiſcht eine Miſchung von 20 Gr. geben muß, weil hier gar kein Grund einzuſehen iſt, warum das wärmere Waſſer nicht genau ebenſo viel zu Erwärmung des kalten als dieſes zu Abkühlung des warmen beitragen ſollte. Ebenſo muß ganz gewiß 1 Pf. Waſſer von 10 Grad mit 2 Pf. Waſſer von 40 Gr. gemiſcht eine 30 Gr. warme Miſchung hervorbringen, da das eine Pfund 20 Grade empfängt, wenn jedes der zwei Pfunde 10 Gr. abgiebt; 5 Pf. von 17 Gr. und 7 Pf. von 50 Gr. müſſen eine Miſchung von $36^1/_4$ Gr. hervorbringen, da $5 . 17 + 7 . 50 = 12 . 36^1/_4$, u. ſ. w. Allgemein: vermiſcht man zwei ungleich erwärmte Maſſen deſſelben Körpers, ſo findet man die Wärme der Miſchung in Graden, wenn man jede Maſſe mit ihrer in Graden ausgedrückten Wärme multiplicirt, die erhaltenen Producte addirt und die Summe derſelben durch die Summe der Maſſen dividirt. Dieſes Geſetz wurde zuerſt von Richmann aufgefunden und iſt daher unter ſeinem Namen bekannt. — Hier bietet ſich alſo die mannigfaltigſte Gelegenheit dar, um zu ſehen, ob das Queckſilber- oder das Luftthermometer die Grade wahrer Wärme wirklich angiebt, die es angeben ſollte, und dieß iſt eine der Methoden, welche die Zuverläſſigkeit dieſer Thermometer gezeigt haben.

Um den Verſuch, zwei ungleich warme Waſſermengen zu miſchen und ihre mittlere Wärme zu beſtimmen, genau anzuſtellen, bedarf es einiger Vorſicht. Denn wollte man das wärmere Waſſer zu dem kältern gießen, deſſen Gefäß alſo auch kälter iſt, ſo würde einige Wärme auf die Vermehrung der Temperatur des Gefäßes verwendet werden müſſen, und bei der Miſchung im warmen Gefäße würde das Umgekehrte erfolgen; man bedient ſich daher am liebſten eines Gefäßes, dem die nach den vorigen Angaben berechnete mittlere Temperatur ſchon im Voraus ertheilt iſt, und vermeidet ſo den für die Erwärmung oder Abkühlung des Gefäßes erforderlichen Wärmeaufwand. Kann man dann zugleich den Verſuch in einer umgebenden Luft von dieſer mittleren Wärme anſtellen, ſo vermeidet man auch den größten Theil der Unſicherheit,

die ſonſt aus der während der Miſchung unvermeidlichen Abkühlung, wenn man höhere Temperaturen des Waſſers als der Luft hat, entſpringt.

Miſchungen ungleicher Körper. Specifiſche Wärme.

Aber ſo einfach hier bei Miſchung gleicher Körper die den Verhältniſſen der Maſſen entſprechende mittlere Temperatur gefunden wird, ſo würde man doch ſehr irren, wenn man dieſe Berechnung der mittlern Temperatur auch auf ungleiche Körper ausdehnen wollte. Wenn man ein Pfund Waſſer mit einem Pfunde Terpentinöl miſcht, ſo hat die Miſchung, auch bei aller angewandten Sorgfalt, nicht die mittlere Temperatur, ſondern bei dieſer Miſchung gewinnt das Oel an Temperatur mehr als das Waſſer verliert, ſo daß Terpentinöl von 30 Grad mit ebenſo viel Waſſer von 90 Grad gemiſcht eine Miſchung von ungefähr 70 Grad giebt, alſo das Oel zwei Grade Wärme gewinnt für einen, den das Waſſer verliert.

Dieſer Verſuch zeigt, daß die Zunahme der Temperatur nicht in allen Körpern durch gleiche Mengen Wärmeſtoff in gleichem Maaße bewirkt wird, ſondern daß es eine ſpecifiſche Verſchiedenheit der Körper in dieſer Hinſicht giebt. Auch ein andrer Verſuch zeigt dieſe Verſchiedenheit. Wenn man in gleichen Gefäßen über möglichſt gleichen Weingeiſtflammen gleiche Mengen Terpentinöl im einen und Waſſer im andern erhitzt, ſo ſteigt die Wärme des erſtern weit ſchneller als die des letztern, und man würde ziemlich zu der Folgerung geleitet werden, daß ein Pfund Waſſer zwei Flammen bedarf, um eben die Temperatur zu erhalten, die ein Pfund Oel durch eine Flamme in gleicher Zeit erhält. Aehnliche Verſchiedenheiten zeigen ſich bei allen Körpern, und man legt daher jedem eine ſpecifiſche oder eigenthümliche Wärmecapacität oder Wärme bei. Ein Körper, der bei gleicher Maſſe und gleich viel zugeführter Wärme ſich doppelt ſo ſehr erhitzt als ein andrer, hat eine halb ſo große ſpecifiſche Wärmecapacität als dieſer. Man vergleicht die ſpecifiſche Wärme der verſchiedenen Körper mit der des Waſſers, und würde ſie alſo, wenn nicht die Miſchungen oft aus andern Gründen zu unſichern Reſultaten führten, am leichteſten durch Miſchung gleicher Gewichte warmen Waſſers mit einem kalten Körper finden, indem der Körper, deſſen ſpecifiſche Wärme $1/2$ iſt, bei Gleichheit der Gewichte doppelt ſo viel an Temperatur gewinnt, als das Waſſer verliert, ferner der, deſſen ſpecifiſche Wärme $1/3$ iſt, dreimal ſo viel an Temperatur gewinnt, als das Waſſer verliert, u. ſ. w. Dieſe Mittheilung der Wärme läßt ſich, wenn man auf den während der Miſchung ſtatt findenden Wärmeverluſt Rückſicht nimmt, bei feſten und bei flüſſigen Körpern anwenden. Man würde zum Beiſpiel, wenn ein Pfund Queckſilber mit einem Pfund Waſſer gemiſcht oder durch einander gerührt würde, bis die Temperatur gleich iſt, das Queckſilber ſich um 33 Grad erwärmen ſehen, wenn das Waſſer ſich um 1 Gr. abkühlt; man würde ein Pfund Kupfer ſich um 9 Gr. erwärmen ſehen, während ein Pfund Waſſer, in welches das Kupfer gebracht iſt, ſich um 1 Gr. abkühlt; denn Queckſilber

hat ungefähr die ſpecifiſche Wärme $= {}^{1}/_{33} = 0{,}03$, Kupfer die ſpecifiſche Wärme $= {}^{1}/_{9} = 0{,}11$. Hätte man gleiche Volumina gemiſcht, ſo verhielte es ſich anders, indem gleiche Maaße ungefähr 14 Gewichtstheile Queckſilber gegen einen Gewichtstheil Waſſer enthalten, wo dann das Waſſer 14 Grade verliert, während das Queckſilber 33 Grad gewinnt, oder 1 Grad, während das Queckſilber $2^{5}/_{14}{}^{0}$ gewinnt; die Vergleichung, welche man ſo anſtellt und die man die Vergleichung der relativen Wärmecapacitäten nennt, gäbe alſo zwiſchen Waſſer und Queckſilber das Verhältniß $2^{5}/_{14}$ zu 1 oder 1 zu $^{14}/_{33}$, das iſt, 1 zu 0,42, während das Verhältniß der ſpecifiſchen Wärmecapacitäten 1 zu 0,03 iſt.[1]

Die Methode, die ſpecifiſche oder auch die relative Wärme durch Miſchung zu finden, ſcheint nur die Unbequemlichkeit zu haben, daß man, vorzüglich bei feſten Körpern, einige Zeit warten muß, bis die Mittheilung der Wärme ſtatt findet, und daß man deshalb auf die Abkühlung in der Luft Rückſicht nehmen muß; aber dieſes iſt doch nicht der Hauptgrund, warum ſie nicht ſo anwendbar iſt, als man zuerſt glauben möchte. Anwendbar ſind dieſe Miſchungen nämlich nur dann, wenn die beiden gemiſchten Körper nicht merklich chemiſch auf einander einwirken oder wenn kein Uebergang aus dem feſten Zuſtande in den flüſſigen oder umgekehrt ſtatt findet, indem, wenn dieſes der Fall iſt, Wärme oder Kälte auf eine ganz andre Art entſteht. Von dieſen Temperaturänderungen muß ich noch beſonders reden und will Sie jetzt nur daran erinnern, daß kaltes Waſſer mit ebenſo kalter Schwefelſäure ſich erhitzt. — Man hat daher auf andre Mittel denken müſſen, um die Wärmemengen zu vergleichen, die gewiſſen Temperaturunterſchieden entſprechen, und hiezu bietet die beim Aufthauen des Eiſes gleichſam verloren gehende Wärme Gelegenheit dar. Die merkwürdige Erſcheinung, daß man Eis von 0° Wärme lange dem Zufluſſe der Wärme ausſetzen kann, ohne daß die Temperatur ſich erhöht, daß nämlich dieſe immer $= 0^{0}$ bleibt, ſo lange nur noch ein wenig ungeſchmolzenes Eis im Waſſer übrig bleibt, verdient in der Folge noch eine genauere Betrachtung; hier aber wollen wir nur bei der einzelnen Erfahrung ſtehen bleiben, daß ein Pfund Waſſer von 75° Cent. (60° R.) Wärme mit einem Pfunde Eis von 0° gemiſcht dieſes gerade zum Schmelzen bringt, ohne ſeine Temperatur zu erhöhen. Es bietet ſich uns alſo hier die Wärmemenge, die ein Pfund Eis zum Schmelzen braucht, als ein bequemes Maaß der Wärme dar, und wenn man ſieht, daß ein Pfund Waſſer von 100° Cent. Wärme $1^{1}/_{3}$ Pfund Eis zum Schmelzen bringt, daß ein Pfund Waſſer von 25° Cent. Wärme $^{1}/_{3}$ Pf. Eis ſchmelzt, daß dagegen ein Pfund Terpentinöl von 75° C. Wärme nur ein halbes Pfund Eis ſchmelzt, ſo wird es gewiß vollkommen einleuchtend, daß wir hier ein angemeſſenes Maaß mitgetheilter Wärme gefunden haben. Ich muß hiebei, da auch Eis eine viel tiefere Temperatur als 0°

[1] Die hinſichtlich der Wärmecapacität ſtatt findende Verſchiedenheit der Körper fand zuerſt Boerhave, welcher durch Fahrenheit Miſchungsverſuche anſtellen ließ. Genauere Reſultate fand Black, welcher bereits die Methode der Vereinigung verſchiedener Körper zur Auffindung ihrer ſpecifiſchen Wärme anwandte, worin ihm Irvine, Wilke und Crawford folgten. (M.)

annehmen kann, nur noch bemerken, daß man Eis von 0° Wärme bei dieſen Verſuchen vorausſetzt. [1]

Eiscalorimeter.

Um die eben angegebene Abmeſſung der Wärmemenge, die ein Körper abgiebt, genauer anzuſtellen, haben Laplace und Lavoiſier ein eignes Inſtrument angegeben, das ſogenannte Eiscalorimeter. Dieſes beſteht aus einem Gefäße ABC (XI. Fig. 16), in welches ein Drahtnetz DE, um den zu beobachtenden Körper aufzunehmen, hineingebracht wird. Der zwiſchen dem Drahtnetze DE und dem Gefäße ABC enthaltene Raum wird mit Eis von der Nulltemperatur gefüllt und dann, nachdem der erhitzte Körper in das Drahtnetz hineingebracht und ganz mit Eis umgeben iſt, das durch die Röhre F ausfließende, aus dem aufgethauten Eiſe entſtandene Waſſer abgewogen. Sie überſehen leicht, daß, wenn man ein Pfund 75° C. warmes Waſſer in den innern Raum bringen könnte, bis zur völligen Abkühlung deſſelben ein Pfund Waſſer abgefloſſen ſeyn müßte, oder, da die ſpecifiſche Wärme des Silbers 0,08 iſt, daß ein Pfund Silber von 75 Gr. Wärme in das Drahtnetz gelegt 0,08 Pfund Waſſer durch Schmelzen des Eiſes hervorbringen wird, ehe das Silber völlig bis zur Nulltemperatur abgekühlt iſt.

Dieſe Angaben reichen hin, um den Begriff von dem, was das Calorimeter leiſten ſoll, deutlich zu machen; aber in der Ausübung iſt die Anſtellung des Verſuches nicht ganz ſo leicht. Zuerſt nämlich iſt einleuchtend, daß bei etwas wärmerer Luft ſchon vermöge des Zutritts der äußern Wärme etwas Eis ſchmelzen würde und daß man dieſes verhindern muß. Zu dieſem Zwecke iſt das Gefäß ABC noch mit einem zweiten Gefäße GHI umgeben und der Zwiſchenraum zwiſchen beiden iſt mit Eis gefüllt; die äußere Luft wird von dieſem Eiſe etwas ſchmelzen, aber da das ſo entſtandene Waſſer von dem im innern Gefäße entſtandenen getrennt bleibt und durch eine andre Röhre K ſeinen Ausweg findet, ſo ſtört dieſes den Verſuch nicht, und alles durch F abfließende Waſſer iſt durch die Wärme des hineingebrachten Körpers geſchmolzen. Ein zweiter Umſtand, welcher ſich der genauen Beobachtung entgegenſtellt, iſt der, daß der mit Eisſtücken gefüllte Raum bei einer geringen Menge abgethauten Waſſers vielleicht gar kein Waſſer giebt, weil es durch Adhäſion an den Eisſtücken und zwiſchen ihnen zurückgehalten wird, und daß aus eben dem Grunde das ausfließende Waſſer nicht das ganz genaue Maaß des aufgethauten Eiſes giebt. Dieſem Uebelſtande kann man nur dadurch ausweichen, daß man ſchon vor dem Anfange des Verſuches etwas Waſſer zwiſchen dem Eiſe ſich bilden und abfließen läßt, wo dann eben nicht zu fürchten iſt, daß am Schluſſe des Verſuches erheblich mehr oder weniger Waſſer als zu Anfang zwiſchen dem Eiſe bleibe. Ein dritter Umſtand iſt, daß man manche

[1] Diejenige Wärmemenge, die beim Schmelzen der Körper gebunden wird, heißt ihre Flüſſigkeitswärme. Sie beträgt beim Wachs 97½°, beim Spermaceti 80°, beim Zinn 13,8°, beim Blei 5,8° C. (M.)

Körper nicht ohne Gefäße in jenen mit Draht umgebenen Raum bringen kann. Aber dieſer läßt ſich dadurch unſchädlich machen, daß man die ſpecifiſche Wärme des Gefäßes beſtimmt.

Mit Berückſichtigung dieſer Umſtände läßt ſich die ſpecifiſche Wärme feſter und tropfbar flüſſiger Körper mit Hülfe dieſes Apparates recht wohl beſtimmen. Um zu zeigen, wie dieß geſchieht, will ich zwei Beiſpiele berechnen. Man habe erſtlich ein $2^1/_2$ Pf. ſchweres Stück Flintglas, bis zu 100° C. erhitzt, in jenen Raum gebracht, und finde nun 0,63 Pf. geſchmolzenes Eis, ſo ſchließt man, daß ein Pf. Glas von 100° eine Quantität von 0,252 Pf. geſchmolzen habe, alſo ein Pf. von 75° eine von 0,189 Pf. geſchmolzen hätte. Da nun ein Pfund Waſſer von 75° gerade ein Pfund Eis ſchmelzt, ſo hat das Glas bei gleicher Temperatur nur $^{189}/_{1000}$ derjenigen Wärme hergegeben, die das Waſſer hergegeben hätte, und 0,189 iſt demnach die ſpecifiſche Wärme des Glaſes. Als zweites Beiſpiel will ich annehmen, daß man zwei Pfund Terpentinöl in einem $2^1/_2$ Pfund ſchweren Glaſe, beide Körper bis auf 100 Gr. erhitzt, in jenen Raum gebracht und die Menge des geſchmolzenen Eiſes = 1,88 Pfund gefunden hätte. Da würde man ſagen, von dieſer Quantität kommen (dem eben angeführten Verſuche zu Folge) 0,63 Pfund auf die Hitze des Glaſes, alſo 1,25 Pfund auf die Wärme des Oeles; zwei Pfund Oel haben 1,25 Pfund, alſo ein Pfund Oel 0,625 Pfund gegeben, und dieſes eine Pfund hätte bei 75 Gr. nur drei Viertel hiervon, das iſt 0,469 Pfund gegeben; die ſpecifiſche Wärme des Terpentinöls iſt alſo 0,469.

Nach dieſen Verſuchen, die man für mehrere Körper angeſtellt hat, beſitzen die Metalle eine ſehr geringe ſpecifiſche Wärme, und es kann daher ſcheinen, als ob unſre frühere Bemerkung, daß die Metalle bei der Berührung die Wärme ſchnell unſerm Körper ſehr entziehen, hiemit im Widerſpruch ſtände. Allerdings iſt es wahr, daß ein Pfund Silber nur etwa ein Fünftel der Wärme gebraucht, die ein Pfund irgend einer Holzart bedarf, um eine beſtimmte Temperatur anzunehmen; aber das Silber reißt dieſe Wärmemenge ſehr ſchnell an ſich, und darum fühlt es ſich im erſten Augenblicke kalt an, obgleich es bei längerer Erwärmung ſich mit geringerm Wärmeaufwande als Holz erwärmt. Die Vergleichungen fallen übrigens verſchieden aus, je nachdem man auf die ſpecifiſche oder auf die relative Wärme, oder was daſſelbe iſt, je nachdem man auf gleiche Gewichte oder auf gleiche Raumgrößen ſieht. Gleiche Gewichte Silber und Holz fordern Wärmemengen ungefähr im Verhältniß 1 zu 5, um gleiche Temperaturen anzunehmen, hingegen gleiche Volumina Silber und Holz brauchen Wärmemengen ungefähr im Verhältniß $2^1/_4$ zu 1, um ſich gleich zu erwärmen, weil Silber 11 bis 12mal dichter als eine der leichteren Holzarten iſt. Aehnliche Vergleichungen laſſen ſich mannigfaltige anſtellen.

Rumford's Calorimeter.

Ein Calorimeter, das man zum Unterſchiede das Waſſercalorimeter nennen kann, läßt ſich gleichfalls zu Verſuchen anwenden, die hieher gehören. Es iſt

einleuchtend, daß man die ſpecifiſche Wärme ſo dünner Körper wie die Luftarten nicht auf dem vorhin angegebenen Wege finden könnte; denn wenn man auch ein Gefäß mit ſehr erhitzter Luft in den Eisapparat brächte, ſo würde ihre Abkühlung, wegen des geringen Maaßes von Wärme, das ſie gewiß nur enthält, nur wenig Eis ſchmelzen. Man muß ſich daher bei Luftarten eines Inſtrumentes bedienen, das geeignet iſt, einen lange Zeit erneuerten Luftſtrom durchzulaſſen und die von demſelben zugeführte Wärme aufzunehmen. Ein ſolches Inſtrument iſt das Waſſercalorimeter, deſſen Hauptheil (XI. Fig. 17) ein mit kaltem Waſſer gefülltes Gefäß AB iſt, auf deſſen Boden eine gekrümmte Röhre DE ſich fortzieht, durch welche man, um die ſpecifiſche Wärme der Luft zu beſtimmen, einen Strom warmer Luft gehen läßt, um durch ſeine an das Waſſer mitgetheilte Wärme die Menge der zugeführten Wärme zu beſtimmen. Hier liegt der Vorzug vor dem vorhin beſchriebenen Inſtrumente darin, daß die im Innern des Waſſergefäßes fortgeführte Röhre DE, deren Krümmungen in horizontaler Richtung die Zeichnung nicht angeben kann, nicht durch einmalige Füllung eine erhebliche Wärme des Waſſers zu bewirken braucht, ſondern daß, indem man die beim Durchzuge abgekühlte Luft immer durch neue, bei F eintretende erſetzt, eine große Menge Luft zu jenem Zwecke mitwirkt. Bei dieſem Verſuche muß man darauf ſehen, daß Luft von beſtimmter Dichtigkeit und beſtimmter Wärme gleichförmig durch die gekrümmte Röhre DE fließe; man muß es ſo einrichten, daß ſie ihre Wärme bei dem Durchgange durch das im Waſſer befindliche Rohr ganz verliere, und muß dann die Zunahme der Temperatur des Waſſers beobachten und bei der Berechnung auf die zugleich ſtatt findende Erwärmung des Gefäßes Rückſicht nehmen. Damit man die Wärme des Waſſers genau kennen lerne, hat das in dem Gefäße AB befindliche Thermometer K nicht eine Kugel, ſondern einen mit Queckſilber gefüllten Cylinder, der ſich durch die ganze Tiefe des Gefäßes erſtreckt, und ſo wirken alle Waſſerſchichten, die vielleicht etwas ungleich erwärmt ſeyn könnten, auf das Thermometer ein. Die für den Zug der warmen Luft beſtimmte Röhre, welche dem Waſſer die Wärme mittheilt, liegt unten im Gefäße, damit das durch ſie erwärmte Waſſer, aufſteigend in dem übrigen, die Wärme gleichmäßiger vertheile. Damit man nicht nöthig habe, die Abkühlung durch die umgebende Luft in Rechnung zu ziehen, füllt man das Gefäß mit ſehr kaltem Waſſer, und läßt den Verſuch ſo lange dauern, bis das Waſſer ebenſo weit über die Temperatur der Luft erhitzt iſt, als es beim Anfange des Verſuchs unter dieſelbe erkältet war, indem dann während der erſten Hälfte des Verſuches die umgebende Luft ebenſo viel zur Erwärmung, als während der letzten Hälfte des Verſuchs zur Abkühlung beiträgt. Hat man alles dieſes beachtet, ſo muß man auf folgende Weiſe rechnen. Wenn das Gefäß von Kupfer iſt, ſo brauchen 900 Gewichtstheile Kupfer nur ungefähr ebenſo viel Wärme als 100 Gewichtstheile Waſſer, um gleiche Temperatur anzunehmen, man rechnet daher dem Gewichte des Waſſers, welches erwärmt wird, ein Neuntel des Gewichtes des Kupfers hinzu und nennt dieß, das Gefäß auf Waſſer

reduciren. Beträgt nun die Waſſermaſſe mit Einſchluß des reducirten Gefäßes 6000 Gewichtstheile und man muß 2000 Gewichtstheile Luft, 65 Grad wärmer als das Waſſer zu Anfang war, durchgehen laſſen, damit das Waſſer um 5 Grade erwärmt werde, ſo ſagt man: damit 6000 Th. Waſſer um 5 Grad oder damit 30000 Th. Waſſer um 1 Gr. erwärmt werden, müſſen 2000 Th. Luft ſich um 60 Grad oder 120000 Th. Luft um 1 Grad abkühlen, die ſpecifiſche Wärme der Luft iſt alſo nur $\frac{1}{4}$ ſo groß, als die des Waſſers. So groß hat man die ſpecifiſche Wärme der atmoſphäriſchen Luft gefunden; die ſpecifiſche Wärme des Waſſerſtoffgaſes iſt dagegen $12\frac{1}{3}$mal ſo groß, das heißt, man braucht nur ein Pfund der letztern, wo man $12\frac{1}{3}$ Pfund der erſtern braucht, um eine beſtimmte Wärme hervorzubringen; da aber das Waſſerſtoffgas bei gleichem Gewichte und gleicher Elaſticität etwa $13\frac{3}{4}$mal ſo viel Raum einnimmt, als atmoſphäriſche Luft, ſo müßte man hiernach mehr Cubikfuße Waſſerſtoffgas als atmoſphäriſche Luft anwenden, um eben die Erhitzung zu bewirken.

Rumford hat eben dieſes Inſtrument noch auf andre Weiſe angewendet; doch davon werde ich in der Folge reden.

Beſtimmung der ſpecifiſchen Wärme durch die Abkühlungszeiten.

Wenn man annimmt, daß bei geringen Maſſen auf die bei verſchiedenen Körpern ungleiche Zuleitung der Wärme im Innern nicht viel ankömmt, und wenn man durch Gleichheit der Oberfläche bewirkt, daß die ſtrahlende Wärme den Körper in gleichem Maaße verläßt, ſo giebt im luftleeren Raume die Zeit der Abkühlung ein Mittel, die ſpecifiſche Wärme zu finden, indem man die ausgeſandte Wärmemenge aus den Zeiten der Abkühlung berechnen kann. Auf dieſe Betrachtung gründen ſich die von Dulong und Petit angeſtellten Verſuche, wo Metalle fein zermalmt in ein Gefäß von Silber gepreßt wurden, in deſſen Mitte ſich das Thermometer befand; bei der geringen Menge des zermalmten Metalls konnte man die Maſſe als überall gleich warm anſehen, und die Oberfläche entließ mit immer gleicher Leichtigkeit die Wärme, daher konnten die Abkühlungszeiten als Maaße der in verſchiedenen Körpern enthaltenen ungleichen Wärmemengen wenigſtens ziemlich nahe angeſehen werden.

Ungleiche ſpecifiſche Wärme der Luft bei ungleicher Dichtigkeit.

In Hinſicht auf die ſpecifiſche Wärme der Luft haben die Beobachter, denen wir die Verſuche darüber verdanken, Clement, Desormes, Delaroche, Berard und Haycraft, noch die Bemerkung gemacht, daß die Luftarten mehr Wärme aufnehmen, indem ſie ſich ausdehnen. Wenn man eben die Luftart nur einem halb ſo großen Drucke ausſetzt, wodurch, wie Sie wiſſen, auch ihre Dichtigkeit auf die Hälfte herabgeſetzt wird, ſo findet man die durch gleiche Volumina erhitzter Luft bewirkte Erwärmung nicht bloß halb, ſondern 7 Zehntel ſo groß, und ebenſo für größere Verdünnungen. Die verdichtete Luft enthält

dagegen nicht ſo viel Wärme, als ſie nach der vermehrten Maſſe enthalten ſollte, ſie trägt nicht in einem im Verhältniß der Verdichtung vermehrten Grade zur Erwärmung bei, ihre ſpecifiſche Wärme iſt geringer.

Hierauf beruhen viele merkwürdige Erfahrungen. Sie haben gewiß bei den Verſuchen mit der Luftpumpe oft bemerkt, daß die Glasglocke ſich von innen mit einem Thau belegt oder beſchlägt, wenn man in den leeren Raum plötzlich wieder Luft einſtrömen läßt. Dieß beruht darauf, daß ſelbſt im leeren Raume eine bedeutende Menge Wärmeſtoff vorhanden iſt, ungefähr vier Zehntel deſſen, der ſich in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit findet; kömmt nun die Luft, die ihren eigenen Wärmeſtoff mitbringt, hinzu, ſo iſt die Menge des in dieſem Raume vorhandenen Wärmeſtoffs größer, als dem natürlichen Zuſtande der Luft gemäß iſt, und es entweicht daher etwas Wärmeſtoff durch die Wände der Glocke, wobei dann die Waſſerdämpfe, die er aufgenommen hat, weil ſie die Wand der Glocke nicht durchdringen können, ſich uns als Niederſchlag kenntlich machen.

Gay-Luſſac hat dieſe Beſtimmung genauer erhalten, indem er zwei gleiche Glasbehälter ſo mit einander verband, daß die aus dem einen hervor-dringende Luft in den andern, welcher ausgepumpt war, überging. In beiden Recipienten befanden ſich ſehr empfindliche Thermometer, mit deren Hülfe noch Hunderttel der Wärmegrade beobachtet werden konnten, und nachdem die Temperatur in dem luftleeren und dem luftvollen Raume gleich geworden war, ließ man die Luft aus dem zweiten Recipienten in den erſten hinübergehen, wobei dann das Thermometer im zweiten um $^6/_{10}$ Grad fiel und das im erſten um ebenſo viel ſtieg; die dem luftvollen Raume mit dem Hinüberfließen der Luft entzogene Wärme fand ſich alſo in dem andern Raume wieder. Wenn man in dem luftvollen Recipienten Waſſerſtoffgas hat, ſo iſt die dieſem Recipienten entzogne und die hinüber geführte Wärme ungefähr anderthalb mal ſo groß, als bei atmoſphäriſcher Luft. Wenn man in dieſen Fällen das im Recipienten aufgeſtellte Thermometer beobachtet, ſo iſt es leicht begreiflich, daß dieſes nur geringe Aenderungen ſeines Standes zeigt, während der eigentliche Unterſchied der Temperatur viel größer ſeyn muß; denn das Queckſilber im Thermometer nimmt nur langſam die Temperatur der Luft an, und dieſe erwärmt ſich ſchon wieder durch den Zutritt von Wärme aus den umgebenden Körpern, ehe noch das Thermometer hinreichend gefallen iſt. Dalton hat daher die wahren hier ſtatt findenden Aenderungen der Temperatur ſo beſtimmt, daß er ein erhitztes Thermometer in einen kalten Raum brachte und ſah, bei welchem Temperaturunterſchiede es ebenſo ſchnell, als bei jenem Verſuche fiel; er fand, daß dieß bei einem Unterſchiede von 28 Gr. Cent. ſtatt fand, wodurch alſo jener Wärmeverluſt auf etwa 28° geſchätzt werden könnte.

Derſelbe Grund, welcher hier Erhöhung der Temperatur veranlaßt, wenn dichtere Luft in einen eingeſchloſſenen Raum übergeht, iſt es auch, aus welchem wir die Kälte erklären müſſen, welche bei dem Hervordringen dichterer Luft in einen unbegrenzten Raum bemerkt wird. In dieſem Falle nämlich dehnt

ſich die verdichtete Luft in einen größern Raum aus und bringt nicht Wärme genug mit, um in dieſem größern Volumen eben die Temperatur zu erhalten; ſie reißt daher von den benachbarten Körpern Wärme an ſich und kühlt ſie zuweilen ſo ſehr ab, daß ſich die Dünſte aus der Luft gefroren anſetzen. Man hat dieß an der Höll'ſchen Waſſermaſchine in Schemnitz beobachtet, wo Luft, durch einen ſehr ſtarken Waſſerdruck comprimirt, angewandt wird, um das Waſſer zu heben, und wo, wenn man dieſe ſtark zuſammengepreßte Luft hervordringen läßt, ihre Ausdehnung eine ſolche Kälte hervorbringt, daß die dem Luftſtrome ausgeſetzten Körper ſich mit Eis belegen.

Endlich gehört auch der Verſuch hieher, wo man in dem pneumatiſchen Feuerzeuge eine bis zum Zünden gehende Hitze hervorbringt. In einer Röhre von ſtarkem Glaſe nämlich iſt ein Kolben, mit dem man in plötzlichem Stoße die Luft verdichtet; dieſe läßt dabei ſo viel Wärme frei, daß ein unten in dem Raume der verdichteten Luft liegendes Stückchen Feuerſchwamm ſich entzündet. Die hier hervorgebrachte Wärme muß gegen 300 Gr. Cent. betragen, da nach Gay-Luſſac's Beobachtung der Schwamm ſich auf ſchmelzendem Wismuth (bei 283 Gr.) noch nicht entzündet, wohl aber auf ſchmelzendem Blei (bei 323 Grad). Erman iſt indeß geneigt, den größten Theil der Wirkung dem zugleich erfolgenden Zuſammenpreſſen des weichen Körpers zuzuſchreiben.

Dieſe Verſuche dienen nun auch, um die Bemerkungen vollſtändiger zu verſtehen, deren Sie ſich aus der Lehre vom Schalle erinnern werden. Indem die Oſcillationen der Schallwellen eine Verdichtung der Luft hervorbringen, entbinden ſie zugleich Wärme, und die dieſen Verdichtungen folgenden Verdünnungen ſind mit Abkühlung begleitet, dadurch aber wird der Wechſel der ausdehnenden Kraft größer, als er bei gleichbleibender Temperatur ſeyn würde, und der Schall pflanzt ſich ſo fort, als ob die Luft eine größere ſpecifiſche Elaſticität beſäße, als ſie wirklich beſitzt. Dabei darf man freilich nicht an eine fühlbare Wärme bei der Fortpflanzung des Schalles denken, da ein Wechſel, der hundertmal, ja tauſendmal und öfter in einer Secunde erfolgt, unmöglich fühlbar ſeyn kann. Dieſe Beſchleunigung der Fortpflanzung des Schalles hängt von dem Verhältniß der ſpecifiſchen Wärme der Luft, die immer gleichen Druck ausübt, zu der ſpecifiſchen Wärme derjenigen, die ein gleiches Volumen behält, ab. Wenn nämlich eingeſchloſſene Luft ſich nicht ausdehnen kann, ſo ſteigt bei hinzukommender Wärme die Temperatur um eine beſtimmte Anzahl von Graden; iſt hingegen eben dieſe Luft in einem der Ausdehnung fähigen Gefäße enthalten, ſo wird bei gleicher hinzukommender Wärmemenge die Temperatur weniger ſteigen, weil ein Theil der Wärme bei der Ausbreitung in einen größern Raum aufgewendet wird. Könnte man alſo in plötzlichem Wechſel die Luft bald ausdehnen, bald verdichten, ſo würde nach Maßgabe jenes Verhältniſſes die Ausdehnungskraft der Luft ſtärkere Ungleichheiten als ihre Dichtigkeit erleiden, und ebenſo geſchieht es in den unmerklichen Oſcillationen bei der Fortpflanzung des Schalles, ſo daß in dieſen Betrachtungen ein Maaß für die vergrößerte Geſchwindigkeit des Schalles gefunden wird.

Steigt bei der Verdichtung mit der Verdoppelung der Dichtigkeit die elaſtiſche Kraft nicht auf 2, ſondern auf 2 . $^4/_3$, mit der Verdreifachung der Dichtigkeit nicht auf 3, ſondern auf 3 . $^4/_3$ = 4, mit der Vervierfachung auf $^{16}/_3$ und ſo ferner, ſo nimmt die Geſchwindigkeit des Schalles beinahe um ein Sechſtel zu (weil $^7/_6$. $^7/_6$ = $^{49}/_{36}$ beinahe mit $^4/_3$ übereinſtimmt), alſo von 880 Fuß, wie Newton's Theorie angab, auf 1027 Fuß, wie die Erfahrung angiebt.

Auch die Erfahrung, daß die Luft in großen Höhen kälter iſt, findet hier ihre Erklärung. Wenn die Luft in der Nähe der Erde erhitzt iſt, ſo ſteigt ſie in die Höhe und verdünnt ſich, wird aber eben dadurch fähig, die größere Wärme ſo in ſich aufzunehmen, daß keine Erhöhung der Temperatur mehr ſtatt findet. Man hat geſucht, das Geſetz dieſer Wärmeabnahme in der Höhe durch Schlüſſe, die auf die veränderte Wärmecapacität ſich gründen, zu beſtimmen; aber dazu ſcheint die vorhandene Zahl von Erfahrungen noch nicht hinzureichen.

Aenderung der Wärmecapacität in feſten Körpern.

Auch bei feſten Körpern ändert ſich die Wärmecapacität, indem ſie ſich ausdehnen, und die von Wilh. Weber angeſtellten Unterſuchungen, welche dieſes ergeben, dienen zu einem recht ſchönen Beweiſe, wie oft eine Lehre durch eine ſcharfſinnige Anwendung einer andern eine Erweiterung erhält. Die Töne der transverſal ſchwingenden Saiten ſind es, aus denen Weber jene Ungleichheit der ſpecifiſchen Wärme bei ungleicher Ausdehnung hergeleitet hat, indem er die Anzahl ihrer Schwingungen aus der Abzählung der ſogenannten Schwebungen genau beſtimmte. Dieſe Schwebungen hört man als ein periodiſches Anſchwellen des Tones, wenn zwei tönende Körper faſt genau einerlei Schwingungszeit haben, indem in dieſem Falle unſer Ohr zwar keine Ungleichheit des Tones mehr empfindet, aber doch beim gleichzeitigen Tönen unterſcheidet, daß im einen Augenblicke die einzelnen Vibrationen ſtreng zuſammentreffen, im andern nicht. Macht z. B. die eine Saite 1000 Vibrationen in 1 Sec., die andre 1001, ſo würde die 1000ſte der einen mit der 1001ſten der andern genau zuſammentreffen, während die Vollendung der 500ſten jener und der 501ſten dieſer am meiſten aus einander läge, und dieſes macht ſich dem Ohre durch eine etwas größere Fülle des Tones in jenem, durch eine etwas verminderte Stärke in dieſem Falle kenntlich; in jeder Secunde kömmt in dieſem Falle eine ſolche Schwebung vor. Zählt man alſo in einem andern Falle 15 Schwebungen in 5 Secunden, ſo ſchließt man, daß die eine Saite 3 Schwingungen in 1 Sec. mehr macht als die andre, oder bei der Vergleichung der Saite mit der Stimmgabel, daß die Saite in $^1/_5$ Sec. eine Schwingung mehr oder weniger macht, als die Stimmgabel.

Es iſt Ihnen aus der Lehre vom Schalle bekannt, daß die Töne einer beſtimmten, immer gleich langen Saite von der Spannung derſelben abhängen; aber da die Wärme die Saite bei gleicher Spannung verlängern würde, ſo nimmt ſie der in unveränderlicher Länge ausgeſpannten Saite einen Theil ihrer

Spannung, der Ton wird daher bei der Erwärmung etwas tiefer. Und nun wird es leicht ſeyn, die Weber'ſchen Verſuche zu verſtehen. Denken Sie ſich eine ausgeſpannte Saite, die genau in der Mitte durch eine zweckmäßige Klemme feſtgehalten wird, ſo daß die Vibrationen des eines Theiles den andern nicht mit erſchüttern, und daß man den einen ſtraffer ſpannen kann, während der andre ſeine Spannung behält. Hat man ſo beide Theile ungleich geſpannt, ſo wird man aus der Ungleichheit der vollkommen ſcharf beſtimmten Töne die Ungleichheit der Spannung beurtheilen können, und wenn man durch Löſung der Klemme die beiden Theile vereinigt, ſo werden ſie eine gemeinſchaftliche und gleiche Spannung bekommen, woraus dann, wenn man die Klemme wieder feſt anſchraubt, ein leicht zu berechnender gleicher Ton für beide Hälften hervorgeht. Aber nach dieſem Löſen der Klemme zeigt ſich eine Verſchiedenheit des Tones, wenn man dieſes Löſen nur einen Augenblick dauern läßt, in Vergleichung gegen den, welchen man bei längerer Dauer der Verbindung erhält. Offenbar theilt ſich im Augenblicke des Löſens der Klemme (ſchon in $^1/_4$ Sec., wie Weber bemerkt) die Spannung auf beide Theile gleich aus, und der ſchärfer geſpannte Theil verdichtet ſich alſo, während der weniger geſpannte Theil ſich ein wenig ausdehnt; bliebe dabei die Temperatur beider Theile im ſtrengſten Sinne ungeändert, ſo würde auch bei der kürzeſten Dauer der Verbindung die gleiche Spannung beider Theile auch eine gleiche Ausdehnung bewirken, und der Ton, den beide Theile geben, würde gleich und derſelbe ſeyn, wie bei länger dauernder Verbindung beider Theile; dagegen muß, wenn in dem Augenblicke der gleichen Spannung der ſich verdichtende Theil eine etwas höhere Temperatur annimmt, der ſich ausdehnende Theil aber etwas an Temperatur verliert, nach der Herſtellung gleicher Wärme der Ton beider Theile ſich ungleich zeigen, wenn die Verbindung nicht lange genug gedauert hatte, um jenen Temperaturunterſchied vorübergehen zu laſſen. Einer der Verſuche Weber's wird dieß völlig erläutern. Eine 514 Linien lange Stahlſaite, deren beide Hälften von 257 Lin. auf die angegebene Weiſe getrennt waren, wurde in der erſten Hälfte durch 1006, in der zweiten durch 7000 Grammen geſpannt. Bei der mittleren Spannung gab jede der beiden Hälften einen ſehr wenig tiefern Ton, als die f-Stimmgabel, ſo daß, wenn man nach längerer Verbindung beider Theile (nach längerer Löſung der Klemme) beide ſchwingen ließ, der erſte in $^4/_5$ Sec., der andre in $^2/_5$ Sec. eine Schwingung weniger als die Stimmgabel machte; aber wenn man die Löſung der Klemme nur $^1/_4$ Sec. dauern ließ und dann (nach Wiederherſtellung gleicher Temperatur, die ſehr ſchnell eintritt) die Töne prüfte, ſo machte der erſte Theil 3 Schwingungen in 5 Sec. weniger, der zweite Theil 3 Schwingungen in 5 Sec. mehr als im vorigen Falle. Bei ſo kurzer Dauer der Oeffnung der Klemme hatte nämlich zwar die Spannung ſich im erſten Augenblicke ausgeglichen, aber die erſte, dabei neu ausgedehnte Hälfte hatte eine geringe Erniedrigung der Temperatur erlitten, und als dieſe durch Zutritt der Wärme von außen gehoben war, zeigte dieſe Hälfte eine etwas geringere Spannung als die andre, die, im erſten

Augenblicke etwas erwärmt, gleiche Spannung, jetzt abgekühlt ſtärkere Spannung zeigte. Dieſe durch die Schwebungen hörbar werdende Differenz der Spannung verräth alſo, daß die Verlängerung der Saite durch vermehrte Spannung ſie fähig macht, mehr Wärme aufzunehmen, oder eine momentane Temperaturerniedrigung bewirkt, das iſt, bei der Ausdehnung nimmt die Wärmecapacität oder ſpecifiſche Wärme der feſten Körper zu. Bei jenem Verſuche mußten, nach der veränderten Ausdehnung, die Wechſel der Temperatur etwa einen Grad betragen, ſie ſind aber ſo ſchnell vorübergehend, daß an eine Meſſung mit dem Thermometer nicht zu denken wäre.

Auch wenn die Wärme ſelbſt eine Ausdehnung der feſten Körper hervorbringt, ſo findet dabei eine Zunahme der ſpecifiſchen Wärme ſtatt, und Eiſen, das ſchon bis 350 Grad erwärmt iſt, bedarf eine größere Wärmemenge, um ſich bis 360 Grad zu erwärmen, als Eiſen von 50 Grad nöthig hat, um die Wärme von 60 Grad zu erlangen. Der Unterſchied beträgt ſo viel, daß in jenem Falle 8 Pfund Eiſen ungefähr ſo viel Wärme als in dieſem 9 Pfund Eiſen fordern, wenn ſie ſich um einen Grad erhitzen ſollen. Pouillet fand die ſpecifiſche Wärme des Platins bei 100, 200, 500, 1000, 1200° C. nach der Reihe 0,0335; 0,0339; 0,0352; 0,0373; 0,0381.

Aus dieſem Grunde ſind die Beſtimmungen höherer Temperaturen, die man durch Miſchung oder durch Eintauchen in einen flüſſigen Körper erhält, unſicher; denn wenn man zum Beiſpiel ein Pfund glühendes Kupfer in 10 Pfund Waſſer von 0° Wärme tauchte und dadurch die Wärme des Waſſers um 10 Grad ſteigen ſähe, ſo würde man ſchließen, 1 Pfund Waſſer hätte ſich auf 100 Grad erhitzen müſſen, und weil kaltes Kupfer etwa nur $1/9$ ſo viel Wärme als Waſſer fordert, um gleiche Temperaturgrade zu erlangen, ſo würde man dem glühenden Kupfer eine Wärme von 1000 Grad beilegen, damit ein Wärmeverluſt von 900 Gr. beim Kupfer und ein Wärmegewinn von 100 Gr. beim Waſſer eine gemeinſchaftliche Wärme von 100 Gr. hervorbringe; wenn aber die ſpecifiſche Wärme des erhitzten Kupfers größer, zum Beiſpiel $1/7$, wäre, ſo würde eben jener Verſuch die Hitze des glühenden Kupfers nur 800 Grad angegeben, nämlich 700 Grad Wärmeverluſt zu 100 Grad Wärmegewinn. So iſt alſo dieſes ſehr paſſend ſcheinende und oft faſt einzig anwendbare Mittel, um ſehr hohe Temperaturen abzumeſſen, doch nur in ſehr weiten Grenzen brauchbar und lehrt uns die Hitze glühender Körper und ähnliche hohe Wärmegrade nicht genau kennen, ja ſelbſt die Miſchungen gleicher Maſſen ungleich erwärmter, aber gleichartiger Körper geben nicht im allerſtrengſten Sinne ein Maaß wahrer Wärme.

[1] In der neueſten Zeit haben ſich außer den bereits Genannten noch folgende Phyſiker um die Lehre von der ſpecifiſchen Wärme verdient gemacht: Marcet, Delarive, Suerman, Apjohn, Dalton, Avogadro, Potter, Neumann, Regnault u. A. Die Beſtimmungen hinſichtlich der ſpecifiſchen Wärme der einzelnen Körper, wie ſie von den verſchiedenen Phyſikern und nach verſchiedenen Methoden erhalten worden ſind, weichen freilich größtentheils ſehr bedeutend unter einander ab. Unter allen feſten und flüſſigen Körpern hat das Waſſer die größte; ihm am nächſten ſtehen die thieriſchen Flüſſigkeiten, z. B. Milch. Bei Schwefeläther iſt die ſpecifiſche

Vergleichung der verſchiedenen Wärmecapacitäten mit den Atomengewichten.

Die ſehr ungleiche Größe der ſpecifiſchen Wärme der Körper, die ſich weder nach der Dichtigkeit, noch nach der Leitungsfähigkeit für die Wärme, noch nach andern Ungleichheiten, an die man etwa denken könnte, richtet, ſcheint am meiſten mit dem Atomengewichte der Körper in Verbindung zu ſtehen. Dulong und Petit ziehen aus ihren Verſuchen den Schluß, daß die Atome aller einfachen Körper gleiche Capacität für die Wärme haben. Die ſpecifiſche Wärme des Eiſens verhält ſich zu der des Schwefels ungefähr wie 11 zu 19, oder gleich ſchwere Stücke Eiſen und Schwefel fordern, um gleiche Temperaturen zu erlangen, Wärmemengen im Verhältniß 11 zu 19; die Anzahl der Atome in gleichen Gewichten dieſer beiden Körper müßte alſo nach dem angegebenen Geſetze wie 11 zu 19 ſeyn, oder die Gewichte der Atome müßten ſich umgekehrt wie 19 zu 11 verhalten. Nach andern Beſtimmungen verhalten ſie ſich wie 339 zu 201, das iſt wie 19 zu $11^{1}/_{4}$, und eine ähnliche Uebereinſtimmung findet ſich bei mehrern Körpern; doch iſt die Unterſuchung wohl noch nicht ſo weit fortgeführt, daß man dieſes Reſultat als ganz erwieſen anſehen dürfte, und Poggendorff macht dabei die ſehr gegründete Bemerkung, daß die ſpecifiſche Wärme feſter Körper bei ungleichen Temperaturen eine Aenderung leidet, während doch das Atomengewicht ungeändert bleibt, daß alſo jenes Geſetz nicht ſtrenge richtig ſeyn könne.[1]

Frei werdende Wärme durch Aenderung der Capacität.

Daß bei Compreſſion der Luft Wärme frei wird, weil die Luft dann eine geringere Wärmecapacität hat oder die frühere Wärme nicht mehr in ſich enthalten kann, iſt ſchon früher angeführt worden. Einigermaßen ähnlich iſt die bemerkbare Wärme, die entſteht, wenn trockne Pulver Feuchtigkeit in ſich aufnehmen. Hier werden die flüſſigen Körper mit großer Gewalt von den feſten angezogen und vielleicht (ſo wie die Luft, wenn ſie von Kohle abſorbirt wird) verdichtet, wobei dann Wärme frei werden könnte.

Man rechnet hieher auch einige chemiſche Verbindungen, die ſich beim Zuſammenmiſchen erhitzen. Wenn man Schwefelſäure in Waſſer gießt, ſo

Wärme über $1/2$, bei Oliven- und Terpentinöl noch nicht $1/2$, bei Alkohol $2/3$, bei Schwefel $1/5$, bei Eiſen, Zink, Kupfer etwa $1/10$, bei Silber noch nicht $6/100$, bei Platin, Gold, Queckſilber, Blei etwa $1/30$ u. ſ. w. Unter den Luftarten ſteht (wenn die ſpecifiſche Wärme auch hier auf das Gewicht bezogen wird) Waſſerſtoff mit 3,9 oben an. Die chemiſch einfachen Gaſe haben für gleiche Volumina und unter conſtantem Drucke mit der atmoſphäriſchen Luft gleiche ſpecifiſche Wärme, während dieſelbe für gleiche Gewichte und bei conſtantem Drucke bei verſchiedenen Gaſen verſchieden iſt. Je geringer der Druck iſt, unter welchem ein Gas ſteht, deſto größer iſt ſeine ſpecifiſche Wärme, ſie wächſt jedoch nicht in dem Verhältniſſe, in welchem der Druck abnimmt; z. B. bei der atmoſphäriſchen Luft wird ſie durch 18fache Verdünnung erſt verdoppelt. (M.)

[1] Nach Dulong iſt das Product der Wärmecapacität und des Atomgewichts bei den einfachen Körpern eine conſtante Größe. Neumann und Regnault haben gezeigt, daß auch die ſpecifiſche Wärme aller zuſammengeſetzten Körper von gleicher atomiſtiſcher und ähnlicher chemiſcher Zuſammenſetzung im verkehrten Verhältniß ihrer Atomgewichte ſteht. (M.)

entſteht eine ſehr ſtarke Erhöhung der Temperatur, die man auf folgende Weiſe zu erklären pflegt. Das Waſſer nimmt, indem es ſich chemiſch mit der Säure verbindet, einigermaßen die Natur der Säure an, das iſt, ſeine ſpecifiſche Wärme geht von 1 auf ⅓ herab; alſo werden von dem geſammten im Waſſer enthaltenen Wärmeſtoffe zwei Drittel frei und durch Temperaturerhöhung fühlbar. Läge nun der abſolute Nullpunkt der Wärme 750 Cent. Gr. unter Null, ſo würden 500 Wärmegrade — wenn dieſer uneigentliche Ausdruck verſtattet iſt — frei, oder Wärme, die ihrer Quantität nach eine Erhöhung der Temperatur von 500 Graden bewirken könnte, erhielte hier eine freie Thätigkeit, wodurch denn allerdings die große Erhitzung erklärt würde. Aehnliche Beiſpiele ſind zahlreich vorhanden: die Erhitzung des Kalkes beim Löſchen; die bis zum Entzünden gehende Erhitzung, wenn man gleiche Theile concentrirte rauchende Salpeterſäure und Schwefelſäure gemiſcht zu ebenſo viel Terpentinöl gießt u. ſ. w. — Ob aber jene Erklärung die richtige ſey, ſcheint immer noch zweifelhaft, und Dulong und Petit behaupten geradezu, daß die auf ſolche Weiſe entwickelten Wärmemengen in gar keinem Verhältniſſe zu den Wärmecapacitäten der gemiſchten Körper ſtehen und daß, nachdem dieſe Wärme frei geworden, ſich keine verminderte Wärmecapacität der Miſchung zeige. Dieſe und ähnliche Erzeugungen von Wärme ſind daher noch im höchſten Grade räthſelhaft.

Man hat auch die thieriſche Wärme, die allerdings durch das Athmen großentheils hervorgebracht wird, aus der ungleichen Capacität des Sauerſtoffgaſes und des kohlenſauren Gaſes zu erklären geſucht, ſie ſey nämlich der frei werdende Wärmeüberſchuß, den ein gleiches Volumen Sauerſtoffgas mehr enthalte, als ein gleiches Volumen kohlenſaures Gas; aber auch dieſe Erklärung iſt nicht ſo genügend, als man anzunehmen geneigt war.

Erregung von Wärme durch Reiben. Feueranſchlagen.

Aber ſelbſt viel bekanntere Erſcheinungen ſind noch ebenſo wenig erklärt. Es iſt eine auch den ungebildetſten Völkern und ſeit Jahrtauſenden bekannte Erfahrung, daß Reibung zweier Körper an einander Wärme hervorbringt. Unſer Feueranſchlagen iſt ein ſolches Mittel, Wärme zu entwickeln; bei Maſchinen, ſelbſt bei Wagenrädern, kann ein Brennen durch zu ſtarke Reibung entſtehen; manche Völker bringen ſogar das Entzünden durch Reiben von Hölzern hervor. Demnach iſt die Erſcheinung deutlich genug, daß beim Reiben Wärme frei wird. Da bei plötzlichem Zuſammenpreſſen, beim Hämmern und in ähnlichen Fällen eben das geſchieht, ſo iſt der Schluß nicht ganz unangemeſſen, daß bei der Aenderung des Volumens der feſten Körper, ſo wie bei den Luftarten, die Wärmecapacität verändert und durch Druck Wärme frei wird. Dieſe Hypotheſe läßt ſich vertheidigen; denn da wir gar nicht wiſſen, welche ſehr große Menge Wärmeſtoff vielleicht noch ſelbſt in den Körpern vorhanden iſt, die eine niedrige Temperatur haben, ſo enthält es nichts Ungereimtes, wenn wir ſagen, indem dieſe Wärme auch nur aus den an der Oberfläche

liegenden Theilchen ausgetrieben wird, mache ſie ſich als fühlbare Wärme kenntlich, und da die Zuleitung von innen her immer neue Wärme darbietet, ſo können dieſe Wärmeerzeugungen faſt unerſchöpflich fortdauern. Um dieſe Hypotheſe durchzuführen, ſteht es uns frei, jenen Vorrath an Wärmeſtoff, der in den Körpern vorhanden iſt, überaus groß anzunehmen, indem es keine Erfahrung giebt, die darin unſern Vorausſetzungen Grenzen ſetzte. Aber obgleich ſich ſo die Hypotheſe wohl glaublich machen läßt, ſo darf man doch auch nicht verhehlen, daß ſie ſich auf gänzlich ungewiſſe Behauptungen ſtützt und daß ſie daher auch gar wohl ganz irrig ſeyn kann. Auffallend iſt hier ſchon die ſehr große Wärme, die beinahe augenblicklich hervorgeht, und die Unerſchöpflichkeit dieſer Wärmequelle. Sind es auch beim Feueranſchlagen nur ſehr kleine Stahltheilchen, die glühend werden, und iſt alſo der Wärmeaufwand auch nur dieſen kleinen Maſſen entſprechend, ſo iſt doch auch die Zahl der bei einem leichten Schlage comprimirten Theile ebenfalls gering, und dieſe wenigen in ihrem Volumen veränderten Theile müſſen jene Wärme hergegeben haben. Dieſe Wärmeerzeugung geht aber unvermindert von ſtatten, wie lange man auch den Verſuch fortſetze. Rumford's Verſuche hierüber ſind am vollſtändigſten ausgeführt; bei einem Drucke von 10000 Pfund und einer nicht einmal ſehr ſchnellen Drehung von Metall in Metall brachte er das die gedrehte Metallmaſſe umgebende Waſſer, welches 19 Pfund betrug, zum Kochen, und die Wärme ſchien ſich unaufhörlich zu erzeugen. Dieſe Wärmeentwickelung findet auch im luftleeren Raume ſtatt.

Rumford und andre Phyſiker haben dieſe Verſuche als für die Immaterialität der Wärme ſprechend angeſehen, indeß muß man wohl richtiger ſagen, ſie ſcheinen nach der Anſicht dieſer Phyſiker ſich beſſer durch eine Undulation des Wärmeſtoffs als durch ein Ausſtrömen und Mittheilen deſſelben zu erklären. Setzt man nämlich voraus, eben jener Aether, aus deſſen Vibrationen man die Erſcheinungen des Lichtes erklärt, bringe durch ſeine Vibrationen auch auf unſer Gefühl die Empfindung der Wärme hervor, ſo ließe es ſich wohl denken, daß hier die mechaniſche Erſchütterung jene Vibrationen bewirke, und ſie wiederholt und unerſchöpflich erneuert bewirke, wenn ſich jene Erſchütterung erneuert. Aber ſo manche andre Erſcheinungen ſind doch weit mehr geeignet, einen Uebergang des Wärmeſtoffes von einem Körper zum andern anzudeuten, ſo daß es mir ſchwer wird, mich für dieſe Undulationstheorie zu erklären. Muncke's Gedanke, daß einige Phänomene nicht ſowohl aus einem Ueberſtrömen oder einer Vermehrung des Wärmeſtoffs entſtehen, als vielmehr aus Schwingungen, verdient wohl nähere Berückſichtigung, indem es wenigſtens gewiß iſt, daß in andern Fällen dergleichen weſentlich verſchiedene Erſcheinungen vorkommen, und derjenige, der alle Bewegungen der Luft oder des Waſſers als ſtrömende erklären wollte, ebenſo ſehr fehlen würde, als der, welcher alles auf Wellen zurückzuführen ſuchte. Indeß, welche Auskunft man auch ergreife, immer ſcheinen wir noch in Beziehung auf die zuletzt erwähnten Erſcheinungen weiter als in andern Lehren von dem, was wir Gewißheit nennen, entfernt zu ſeyn.

Dreiundfünfzigſte Vorleſung.

Wärme, die bei Aenderung des Aggregatzuſtandes latent wird.

Weit beſſer als die zuletzt angeführten Erſcheinungen laſſen ſich diejenigen erklären, die mit dem Flüſſigwerden des Eiſes und mit der Verwandelung des Waſſers in Dampf verbunden ſind. Wenn man an ſehr kalten Tagen ein Thermometer, das ganz von Eis umgeben iſt, beobachtet, ſo ſteht es oft ſehr tief unter dem Nullpunkte; bringt man es dann in einen wärmeren Raum, ſo wird das Eis erwärmt und das Thermometer ſteigt, bis es den Nullpunkt erreicht hat, dann aber zeigt es, obgleich immer neue Wärme zufließt, keine Temperaturerhöhung an, während das Eis ſchmilzt, ſondern das Thermometer bleibt auf Null, bis ſich das geſammte Eis in Waſſer verwandelt hat. Offenbar iſt alſo ein Aufwand von Wärme nöthig, um aus Eis Waſſer zu machen, und die während der ganzen Zeit des Schmelzens zuſtrömende Wärme wird lediglich auf dieſe Formänderung oder Aenderung des Aggregatzuſtandes verwandt. Weil ſie außerdem keine Wirkung hervorbringt und durch das Thermometer nicht wahrzunehmen iſt, ſo ſagt man, ſie ſey gebunden oder latent. Auf ähnliche Weiſe wird Wärme gebunden, um Waſſer in Dämpfe zu verwandeln, und ſowohl jener als dieſer Wärmeaufwand hat ſeine genau beſtimmte Größe, die man aus folgenden Zahlen überſehen kann. Nimmt man eine Eismaſſe von —10 Gr. Cent. und bringt dieſe an ein immer gleich erwärmendes Feuer, das gerade ſo wirkſam iſt, daß in 4 Minuten die Temperatur des Eiſes bis 0° ſteigt, ſo ſollte man erwarten, daß in den folgenden 4 Minuten ein neues Steigen des Thermometers bis auf +10° ſtatt finden werde, aber das erfolgt nicht, ſondern 30 Minuten lang kann jene Wärme gleichförmig zuſtrömen, ohne etwas anderes als die völlige Schmelzung des Eiſes zu bewirken. Sobald alles Eis in Waſſer verwandelt iſt, ſteigt das mit Waſſer umgebene Thermometer in 40 Minuten bis zum Kochpunkte, bleibt aber, während das Waſſer kocht, hier wieder ſtehen, und 210 Minuten lang ändert ſich die Temperatur des Waſſers nicht, am Ende dieſer Zeit aber iſt alles Waſſer gänzlich in Dampf verwandelt. Es wird alſo ebenſo viel Wärme erfordert, um 1 Pfund Eis in Waſſer zu verwandeln, als um 1 Pfund Waſſer auf 75 Gr. Centeſ. (60° R.) zu erhitzen, und es wird ebenſo viel Wärme erfordert, um 1 Pfund Waſſer in Dampf zu verwandeln, als um 1 Pfund Waſſer auf 525° Cent. (420° R.) oder 10 Pfund Waſſer auf 52½° Cent. zu erhitzen. [1]

Der eben beſchriebene Verſuch ſcheint, obgleich er recht paſſend iſt, um die Ueberſicht der Erſcheinungen darzuſtellen, doch eben nicht geeignet, um jene Zahlen mit großer Genauigkeit zu erhalten; aber andre Verſuche zeigen eben

[1] Nach jenen Zeitangaben würde man nämlich in 30 Minuten ein Steigen auf 75°, in 210 Minuten ein Steigen um 525° erwarten.

das, was ich hier angegeben habe. Um zuerſt bei dem Schmelzen des Eiſes ſtehen zu bleiben, ſo ließe ſich der dazu nöthige Wärmeaufwand am beſten durch den Eiscalorimeter von Lavoiſier beſtimmen; bringt man in denſelben 1 Pfund Waſſer von 70 Gr. Wärme, ſo beträgt das geſchmolzene Eis noch nicht 1 Pfund, erſt bei 75 Gr. C. iſt dieſes der Fall, es beſtätigt ſich alſo jene Behauptung, und das ſchon oben angewandte Wärmemaaß, welches von der Schmelzung einer beſtimmten Eismenge hergenommen wurde, erhält hier ſeine völlige Erklärung.

Die gebundene oder latent werdende Wärme wird bloß verbraucht, um Flüſſigkeit hervorzubringen, und ſo wie ſie bei dem Waſſer erforderlich iſt, ſo iſt auch bei andern Körpern mit dem Schmelzen ein Wärmeaufwand verbunden, ſo daß während des Schmelzens die Temperatur nicht höher ſteigt. Hieraus erklären ſich manche merkwürdige Erſcheinungen, z. B. die, daß eine in Papier gewickelte bleierne Kugel über einer Kerzenflamme ſchmilzt, ohne daß das Papier entzündet wird. Man kann hieran mit Recht die Frage anſchließen, ob auch umgekehrt Wärme frei wird, wenn das Waſſer ſich in Eis verwandelt, und es ſcheint auffallend, daß wir dieß ſo wenig deutlich bemerken. Der Grund hievon liegt aber ohne Zweifel darin, daß das Gefrieren ſo langſam ſtatt zu finden pflegt, daß die Wärme in den umgebenden Körpern ſich zu zerſtreuen Zeit findet, und es würde ſchwierig ſeyn, etwa mit einem viel kälteren Gefäße den Verſuch anzuſtellen. Indeß giebt es doch einen Fall, wo ſich dieſe Wärmeentwickelung beim Gefrieren zeigt. Das Waſſer läßt ſich nämlich, wenn man ſeine Oberfläche mit Oel bedeckt und es vor aller Erſchütterung ſichert, bis mehrere Grade unter Null abkühlen, ohne daß es in Eis verwandelt wird; bringt man aber, nachdem dieß geglückt iſt, eine kleine Erſchütterung hervor, ſo erfolgt das Gefrieren in einem Augenblicke und das Thermometer ſteigt bis auf Null, das heißt, beim Gefrieren wird ſo viel Wärme frei, daß das bis zu mehrern Graden unter Null erkältete Waſſer, ſo wie zugleich Thermometer und Gefäß nun wieder die Nulltemperatur erhalten.

Das Freiwerden von Wärme beim Gefrieren wirkt übrigens dadurch ſehr wohlthätig, daß es nur eine partielle und langſame Verwandlung des Waſſers unſrer Flüſſe, Teiche u. ſ. w. in Eis geſtattet; denn während ein Theil Waſſer gefriert, nimmt das übrige Waſſer die frei gewordene Wärme auf und wird in der That erwärmt. Daher überſchreitet die Dicke des Eiſes unter mittlern Breiten nie 3 Fuß. Andrerſeits hindert das Latentwerden der Wärme das zu plötzliche Schmelzen des Eiſes, welches in vielen Fällen ſehr gefährlich werden und die verheerendſten Ueberſchwemmungen zur Folge haben würde, die freilich dennoch zuweilen, aus ſpäter zu erwähnenden Gründen, beim Thauwetter eintreten können.

Auch für andere Körper hat man die Wärme, die bei dem Flüſſigwerden latent wird, zu beſtimmen geſucht. Bei den Metallen, die erſt in ſehr hohen Hitzegraden ſchmelzen, ſcheint dieß nach Rudberg's Beobachtungen am beſten durch die Beobachtung der Abkühlungszeiten von 10 zu 10 Grad zu geſchehen.

Man bemerkt nämlich, daß ſehr erhitztes geſchmolzenes Zinn von 290° bis 280° Cent. in 14 Sec., von 240° bis 230° in 23 Sec. abkühlt, aber von 230° bis 220°, wo es feſt wird, 560 Sec. Zeit gebraucht; man ſchließt alſo mit Recht, daß in dieſer ſo langen Zeit nicht allein die freie Wärme, ſondern auch die im flüſſigen Zinn enthaltene latente verloren geht und dadurch die Verzögerung der Abkühlung ſtatt findet. Dieſer Schluß iſt um deſto mehr begründet, da nachher die Abkühlung wieder ſchneller fortgeht und zum Beiſpiel in dem vorigen Verſuche die Abkühlung des feſten Zinnes von 220° bis 210° nur 33 Sec. forderte. Rudberg ſchließt aus dieſen Verſuchen, daß ein Gewichttheil flüſſiges Zinn ſo viel Wärme latent enthält, als erforderlich iſt, um 1 Gewichttheil Waſſer um 13⅕ Gr. zu erwärmen, und dieſes iſt ungefähr ſo viel Wärme, als nöthig iſt, um ein Gewichttheil Zinn um 220 Grad zu erwärmen. Dieſe Rechnung iſt unſicher, da wir die ſpecifiſche Wärme des ſo ſtark erhitzten Zinnes nicht genau kennen, indeß zeigt ſie doch, daß auch hier viel Wärme frei wird, wenn der Zuſtand der Feſtigkeit eintritt; bei Blei, welches bei 320° Cent. ſchmilzt, findet etwas Aehnliches ſtatt, doch iſt die Wärme, die 1 Gewichttheil Blei im Schmelzen aufnimmt, nur ſo groß, daß ſie 1 Gewichttheil Waſſer um beinahe 6 Grad erhitzen könnte.

Eiscryſtalle. Schnee.

Der Grund, warum außer einer niedrigen Temperatur auch einige Bewegung erfordert wird, damit Eis entſtehe, ſcheint in der regelmäßigen Bildung der Eiscryſtalle zu liegen, bei welcher die Theilchen nicht ganz in der Anordnung bleiben, welche ſie im Waſſer hatten, und die daher eine Erſchütterung, damit die neue Anordnung der Theilchen eintrete, fordert. Wirklich aber zeigt ſich uns eine ſolche beſtimmte Anordnung, indem das Eis Cryſtalle bildet. Wir ſehen die Eisnadeln und Eisblättchen in einem Gefäße ſich immer unter Winkeln von 60 Graden an einander anſetzen, und die Zwiſchenräume zwiſchen dieſen füllen ſich mit kleinern, ebenſo geneigten Nadeln aus. Wir ſehen dieſe Eisbildung am leichteſten und auch faſt am vollſtändigſten bei dem Gefrieren der Fenſterſcheiben, deren dünne Waſſerſchicht ſich leicht mit großer Regelmäßigkeit in Cryſtalle bildet. Iſt an einer Fenſterſcheibe nur ſehr wenig Feuchtigkeit, ſo finden wir einzelne ſechsſpitzige Sterne auf ihr, die ſich nur, wenn es zu ſehr an Feuchtigkeit gefehlt hat, nicht vollkommen zu ſechsſpitzigen Sternen ausbilden. Iſt die Glasſcheibe ganz mit einer dünnen Schicht Waſſer bedeckt, ſo ſchießen einzelne Eisnadeln an und an dieſe fügen ſich unter dem Winkel von 60 Graden andre Nadeln, die oft ſehr ſchnell zunehmen, oft in parallelen Richtungen einen bedeutenden Raum füllen. So entſtehen die Blumen an den Fenſtern, bei denen die Krümmung der einzelnen Nadeln wohl theils von Ungleichheiten im Glaſe, theils von der größern oder geringern Dicke der Waſſerſchicht herrührt. Man hat dieſe regelmäßige Bildung der Cryſtalle als ſechseckige und dreieckige Prismen auch oft bei größern Eismaſſen gefunden; Clarke aber glaubt gefunden zu haben, daß die eigentlich urſprüngliche Geſtalt der Eiscryſtalle das

Rhomboid mit Winkeln von 60 und 120 Graden ſey, daß aus dieſem ſich die größern Eiscryſtalle zuſammenſetzen, daß aber nur bei einem ſehr langſamen Gefrieren, bei gelinder Kälte, dieſe Grundform kenntlich bleibe. [1]

Eben dieſe Bildung in Eisnadeln, an welche ſich feinere Eisnadeln unter dem Winkel von 60 Gr. anſetzen, zeigt der Reif und noch ſchöner der Schnee. Bei ſtarkem Froſte, am beſten wenn nur wenige und kleine Schneeflöckchen fallen, hat der Schnee die ganz reine Geſtalt ſechsſpitziger Sterne oder ſechseckiger Blättchen; bei andern Schneecryſtallen haben ſich Nadeln unter dem Winkel von 60° zuſammengefügt oder es haben ſich Verbindungen von regelmäßigen Sechsecken gebildet, und ſo entſtehen die in **XI. Fig. 18** dargeſtellten und noch viel mannigfaltigere Formen der Schneecryſtalle. Bei recht kalter und mit wenig Dünſten beladener Luft ſieht man wohl einzelne Eisnadeln, noch nicht zu Sternen verbunden, ohne Zweifel aber von dreieckig prismatiſcher oder von rhomboidiſcher Form herabfallen. Wenn ſich die Schneecryſtalle zahlreicher bilden, ſo hängen ſie ſich an einander und bringen die eigentlichen Schneeflocken hervor, die ſich am unregelmäßigſten an einander gehängt bei gelindem Froſte zeigen, aber immer aus jenen regelmäßig gebildeten kleinen Cryſtallen hervorgehen. [2]

Ausdehnung des Waſſers beim Gefrieren.

Das Eis iſt ſpecifiſch leichter als Waſſer ungefähr in dem Verhältniſſe 9 zu 10; es findet alſo beim Gefrieren eine Ausdehnung, eine Zunahme des Volumens, ſtatt. Dieſe iſt ſo gewaltſam, daß ſie die Gefäße, worin das Waſſer eingeſchloſſen iſt, zerſprengt und da, wo das Waſſer oben eine freie Oberfläche hat, dieſer eine gewölbte Geſtalt giebt. Die Gewalt, mit welcher ſich hier das Eis ausdehnt, iſt ſehr groß, ſo daß z. B. einmal eine hohle Eiſenkugel von 15½ Zoll innerem Durchmeſſer und 2¾ Zoll dicken Wänden vom Eiſe zerſprengt, alſo eine Kraft, die man auf mehrere Millionen Pfunde ſchätzen kann, ausgeübt wurde. [3] Man hat ähnliche Verſuche öfter angeſtellt und immer gleich ungeheure Kräfte gefunden, dabei aber auch bemerkt, daß das Waſſer erſt, nachdem es ſich mehr Raum gemacht hat, zum Gefrieren kömmt, und ungefroren bleibt, wenn die Feſtigkeit des Körpers kein Zerſprengen geſtattet. Dieß zeigte ſich bei Williams' Verſuchen dadurch, daß einmal der

[1] Nach Smithſon iſt die Cryſtalliſation des Eiſes eine doppelte ſechsſeitige Pyramide, wie beim Bergcryſtall, mit einem Winkel von 80 Grad, wo beide Pyramiden zuſammenſtoßen. Am genügendſten hat wohl Brewſter die Aufgabe behandelt, die Cryſtallform des Eiſes zu beſtimmen, das nach ſeinen Unterſuchungen ein das Licht doppelt brechender Körper von einer einzigen optiſchen Axe iſt und zum rhomboedriſchen Syſtem gehört. (M.)

[2] Am vollſtändigſten hat Scoresby die Formen des Schneecryſtalles unterſucht (ſ. deſſen Reiſe auf den Wallfiſchfang). (M.)

[3] Um ungefähr die Größe der entſtandenen Bruchfläche zu beſtimmen, dient die Angabe, daß ein Stück von 150 Pfund fortgeſchleudert wurde. 150 Pfund Eiſen ſind ungefähr 470 Cubiczoll, alſo 170 Quadratzoll der Kugeloberfläche; die ganze Kugeloberfläche betrug ungefähr 1000 Quadratzoll; rechne ich den Umfang jenes Stückes zu 45 Zoll, die Bruchfläche auf reichlich 100 Quadratzoll, ſo kann man die erforderliche Kraft wohl auf 2,600,000 Pfund rechnen, wie Muncke ſie beſtimmt.

ſchließende Stöpſel bei —17° R. herausgedrängt und 62 Fuß weit fortgeſchleudert, dabei aber auch ein offenbar erſt in dieſem Augenblicke ſich bildender Eiscylinder hervorgedrängt wurde. Die große Gewalt, mit welcher hier die Anordnung in Cryſtallformen als nothwendige Bedingung des Gefrierens gefordert wird, erhellt hieraus, und es iſt wohl offenbar, daß darin, nicht in der zufällig eingeſchloſſenen Luft, der Grund der Ausdehnung des Eiſes zu ſuchen iſt. Man hat ſich überdieß auch überzeugt, daß Waſſer, welches durch Auskochen frei von Luft geworden iſt, völlig ebenſo eine zerſprengende Kraft ausübt.

Wegen dieſes vergrößerten Volumens ſchwimmt das Eis auf dem Waſſer, und wenn man das ſpecifiſche Gewicht deſſelben = $^9/_{10}$ annimmt, ſo iſt allemal nur ein Zehntel der ſchwimmenden Eismaſſe oberhalb des Waſſers, alſo bei ſchwimmenden Eisbergen auf dem Meere gewiß in den meiſten Fällen eine ſehr tief gehende Maſſe im Waſſer eingetaucht, obgleich nicht über die Tiefe, ſondern nur über die ganze räumliche Ausdehnung des unter dem Waſſer befindlichen Theiles ein Urtheil möglich iſt.

Polareis, Gletſcher, Schneelinie, Schneelawinen.

Eis und Schnee kommen auf der Erde in ſo manchen merkwürdigen Beziehungen vor, daß die phyſiſche Geographie oft davon zu reden Veranlaſſung hat, weshalb Sie auch mir geſtatten werden, etwas länger bei den Erſcheinungen, die von ihnen abhängen, zu verweilen. Die Polarmeere ſind mit ewigem Eiſe erfüllt und bekanntlich iſt darum die Fahrt in den nördlichen Meeren ſo ſchwierig, ja zum Theil unmöglich. Merkwürdig iſt in Beziehung auf die nördlichen Meere, welche noch beſchifft werden können, daß in der Gegend von Spitzbergen das Meer bis zu weit nördlichern Breiten befahren werden kann, als an der grönländiſchen und aſiatiſchen Küſte. Offenbar iſt dieß die Folge der aus ſüdlichen Gegenden kommenden warmen Seeſtröme, die zwiſchen America und Europa bis zu ſehr nördlichen Gegenden vordringen und das Eis dort während des Sommers ſo unterbrechen, daß die Wallfiſchfänger bis zum 80ſten Grade der Breite gelangen können. Die Grenzen des faſt ganz undurchdringlichen Eiſes, welche in der Gegend von Island und Spitzbergen eine ſo bedeutende Einbiegung haben, ſind indeß nicht völlig unveränderlich, ſondern um die Jahre 18 bis 22 dieſes Jahrhunderts konnte man zu den öſtlichen Küſten Grönlands gelangen, die ſeit vielen Jahren unzugänglich geweſen waren. Dieſe Befreiung vom Eiſe war dadurch entſtanden, daß vorzüglich im Jahre 1818 ungeheure Eismaſſen ſich abgelöſet hatten und nach Süden zu getrieben waren, ſo große Maſſen, daß Schiffe, die von Neufundland (in 47° Breite) abſegelten, viele Tage lang und ſo weit als das Auge reichte von Eis umgeben waren.

In jenen nördlichen Meeren und vorzüglich in der Davisſtraße kommen Eisberge von mehr als 100 Fuß, ja bis 250 Fuß Höhe über dem Waſſer und ſo tief gehend vor, daß ſie bei 600 Fuß Tiefe des Waſſers auf dem Grunde ſitzen

bleiben. Sie ſind ſo zahlreich, daß Roß auf einmal 700 in der einen Hälfte des Horizontes zählte. Die Entſtehung dieſer ungeheuern Maſſen ſcheint vielleicht einzig oder doch wenigſtens vorzüglich an den Ufern der feſten Länder ſtatt zu finden, und die Vermuthung, daß ſie von den Abhängen der Berge ins Meer herabſtürzen, hat ſehr viel für ſich. Aber auch nachdem ſie das Meer erreicht haben, können ſie durch Regen und Schnee und durch feuchte Niederſchläge aus der wärmern Luft noch ſehr zunehmen, daher denn auch ſich im Sommer oft oben auf denſelben aufgethautes ſüßes Waſſer findet. Diejenigen Eismaſſen dagegen, welche wenig über das Waſſer hervorragend die Eisfelder bilden, entſtehen auch mitten auf dem Meere, indem bei ſtärkerer Kälte das Waſſer ſich mit Eiscryſtallen füllt, aus deren Vereinigung dann die ſich oft Meilen weit ausbreitenden, theils aus großen theils aus kleinen Stücken beſtehenden Eisfelder hervorgehen. Dieſe Eismaſſen ſetzen die jene Gegenden beſuchenden Schiffer oft in die größten Gefahren. Oft finden dieſe ſich durch ſchnell ſich vereinigende Eismaſſen ſo von Eis umgeben, daß ſie nirgends einen Ausweg ſehen und den Bewegungen des Eiſes ganz und gar folgen müſſen. Dabei ereignet es ſich zuweilen, daß mehrere ungeheure Eisfelder ſo gegen einander drängen, daß Schiffe in Gefahr gerathen, von ihnen zerdrückt zu werden. Beſonders gefährlich ſoll es in ſolchen Fällen ſeyn, wenn große Eismaſſen, die eine drehende Bewegung angenommen haben, durch dieſe mit aller der Gewalt, deren eine ſo große Maſſe fähig iſt, an einander ſtoßen und ſich und alles, was ihnen in den Weg kommt, zertrümmern. Andre Gefahren drohen den Schiffen von umſtürzenden Eisbergen. Suchen ſie bei Sturm zwiſchen Eisbergen Schutz, oder können ſie nicht vermeiden, ſich in der Nähe derſelben länger aufzuhalten, ſo ereignet es ſich, daß die Eismaſſen zertrümmert herabſtürzen und das Schiff beſchädigen, oder daß ſie durch eine Veränderung ihres Schwerpunktes, etwa dadurch, daß große Stücke unter dem Waſſer ſich von ihnen lostrennen, eine andere Lage annehmen und ſo umſtürzend das Schiff bedecken. Oft erſtrecken ſich dieſe großen Eismaſſen unter dem Waſſer weiter ſeitwärts als oben und das Schiff befindet ſich oberhalb eines Theiles der Eismaſſe; nimmt dann die ganze Maſſe eine etwas veränderte Lage an, ſo hebt ſich zuweilen jener unter dem Waſſer befindliche Theil plötzlich hervor und ſtößt von unten an das Schiff oder hebt es aus dem Waſſer hervor. Wie dieß geſchehen kann, zeigt **Fig. 19**, wo die Maſſe **B**, ſo lange ſie mit **C** vereinigt iſt, recht wohl in der angegebenen Stellung ſchwimmend bleiben kann, während die Maſſe **B** ſogleich umſtürzen und das Schiff bei **A** bedecken wird, wenn ſich die Maſſe **C** lostrennt. Dagegen würde das Schiff bei **A** durch die Maſſe **D** aus dem Waſſer gehoben werden können, wenn ſich plötzlich der Theil **E** von der Eismaſſe **D** trennte, mit welcher er bisher verbunden war. Nirgends ſcheinen die dem Seefahrer drohenden Unglücksfälle ſo zahlreich und mannigfaltig zu ſeyn, nirgends ſcheinen ſie eine ſo unausgeſetzte Achtſamkeit auf alle Umſtände, ſo viel Entſchloſſenheit, um ſchnell einen günſtigen Umſtand zu benutzen, nirgends

ſo viel Thätigkeit und Arbeit, um ſelbſt durch Durchſägen des Eiſes und ähnliche Mittel ſich frei zu machen, zu fordern, als in dieſen nördlichen und ſüdlichen Polarmeeren, wo überdieß beſtändige Nebel und öftere Stürme die Gefahren noch vergrößern.

Auch das Gefrieren kleinerer Gewäſſer, der großen Ströme, Landſeen u. ſ. w. bietet manche merkwürdige Erſcheinungen dar. Das Losbrechen des Eiſes in den großen Strömen, wo oft dichte Eisſtücke von mehreren tauſend Quadratfußen Oberfläche und einem oder mehr Fuß Dicke Maſſe genug haben, um ganze Brücken fortzuführen, um 10 Pfähle von Fußdicke auf einmal abzuſchneiden u. ſ. w., bietet nicht ſelten auffallende, aber auch gefährliche Erſcheinungen dar. Die dabei oft entſtehenden Eisdämmungen, wo der Strom ſich durch über und unter einander geſchobene Eisſchollen ſelbſt den Ausgang verſperrt, bringen die gefährlichſten Ueberſchwemmungen hervor, und obgleich zuweilen ein Zertrümmern dieſer Dämme durch Kanonenkugeln, ein Sprengen mit Pulver oder ein Zerſägen durch zeitig genug gemachte Einſchnitte in das Eis die Gefahr abwenden kann, ſo ſind doch in großen Strömen die Fälle oft von der Art, daß ſie allen durch menſchliche Kraft anzuwendenden Hülfsmitteln trotzen.

Unter den noch nicht ganz erklärten Erſcheinungen bei der Entſtehung des Eiſes in Strömen verdient wohl das ſogenannte Grundeis erwähnt zu werden. Da die Kälte uns immer durch die Luft zugeführt wird und die Erde im Innern, wenigſtens in unſern Gegenden, keineswegs die Froſtkälte hat, ſo ſcheint es ſchon deswegen nicht wohl möglich, daß ſich Eis auf dem Boden der Gewäſſer bilden ſollte. Dieß ſcheint in ſüßem Waſſer um ſo weniger geſchehen zu können, da das ſchwerſte Waſſer nicht das von 0° Wärme, ſondern das von etwa 4° C. Wärme iſt, alſo am Boden ein Waſſer ſich ſammeln muß, das nicht die Gefrierkälte hat. Gleichwohl ſind die Behauptungen, daß es ein Grundeis gebe und man mehrmals ein ganz entſchiedenes Entſtehen des Eiſes am Boden der Gewäſſer bemerkt habe, ſo oft wiederholt worden, daß man nicht an ihrer Wahrheit zweifeln kann. Nach einigen Beobachtungen ſcheint es, als ob die gute Wärmeleitung eines ſteinigen Ufers die Abkühlung bewirken könne; aber nach andern Beobachtungen entſteht auch in 10 Fuß Tiefe mitten im Fluſſe auf dem Boden Eis, und ein Beobachter in Solothurn fand die Aar am Boden in 10 bis 12 Fuß Tiefe gefrierend und 0° kalt, während das obere Waſſer noch $+1\frac{1}{2}$ bis 2° warm, die Luft aber ſehr kalt war. Wenn dieſe Eisbildung am Boden der Flüſſe ſtatt findet, ſo überziehen ſich zuweilen die auf dem Boden liegenden Körper ſo mit Eis, daß ſie mit demſelben bis auf die Oberfläche des Waſſers heraufgehoben werden. [1]

[1] Nach Arago bildet ſich Eis am Boden bei bewegtem Waſſer, das durch ſeine ganze Maſſe bis zum Gefrierpunkt erkältet iſt, in welchem Falle ſich an den Hervorragungen die erſten Eisnadeln anſetzen; in den ruhigern Schichten am Boden häufen ſich die Cryſtalle an, während ſie an der Oberfläche durch die ſtärkere Bewegung des Waſſers zerriſſen werden. Nach Gay-Luſſac bilden ſich auf der Oberfläche des Waſſers, wenn bei plötzlich eintretender Kälte daſſelbe ſtark erkaltet, kleine Eiscryſtalle in großer Menge, welche ſich aber in Folge der Bewegung des Waſſers auflöſen

Gewöhnlicher aber iſt es, daß bei mäßiger Kälte die Eisdecke ſich ganz ruhig oben anſetzt; bei plötzlicher ſtrenger Kälte und in etwas ſtärker bewegtem Waſſer bilden ſich unzählige Eisnadeln, im Waſſer ſchwimmend, die dann ſehr bald zu ganzen Eisſchollen vereinigt die Oberfläche mit Eis bedecken. Daß dieſe Eisbildung zuweilen bei gleicher Kälte und gleicher Schnelligkeit eines und deſſelben Stromes ſchneller fortgeht, als zu anderer Zeit, glaubt Arago aus ungleichem Wärmeverluſt durch ſtrahlende Wärme erklären zu müſſen, und bemerkt dabei, daß heitrer Himmel die Eisbildung befördere. Indeß iſt es wohl gewiß, daß auch die größere oder geringere Kälte in den entfernten, höhern Gegenden eben des Stromes dabei von ſehr bedeutendem Einfluß iſt, indem bald das den Strom herunter kommende, bald das an dem Orte ſelbſt entſtehende Eis mehr zur Bildung der Eisdecke beiträgt.

Ebenſo merkwürdig als die Eisbildung in den Polarmeeren ſind die Gletſcher. Es iſt bekannt, daß in den höhern Gegenden der Atmoſphäre die Temperatur immer ſo niedrig iſt, daß auf den höchſten Bergen ſelbſt im Sommer der Schnee nicht aufthaut. Dieſe Schneegrenze, oberhalb welcher der Schnee niemals aufthaut, liegt nicht in der Höhe, wo die mittlere jährliche Temperatur Null iſt, ſondern höher, weil die warmen Sommertage ſo ſtark auf das Schmelzen des Schnees wirken. Die Schneegrenze entfernt ſich ſtärker von der Mittelwärme = 0° in hohen Breiten, weil dieſer vorherrſchende Einfluß der Sommerwärme bedeutender in den langen Sommertagen der hohen Breiten iſt, als in der Gegend des Aequators, wo das ganze Jahr eine beinahe gleichförmige Wärme hat. Außerdem hängt die Höhe der Schneegrenze noch von Nebenumſtänden ab, indem auf ausgedehnten hohen Gebirgen eine weit verbreitete niedrige Temperatur das Beſtehen des Schnees unterſtützt, wogegen einzelne Bergſpitzen, auch wenn ihr Abhang es geſtattet, ſich nicht ſo leicht mit ewigem Schnee bedecken. Die Schneegrenze liegt unter dem Aequator 15000 Fuß, auf dem Aetna 10000, in den Pyrenäen 8400, in den Alpen und Carpathen 8000, in Norwegen 5400, in Island 3000 Fuß hoch.

Dieſem ewigen Schnee verdanken die Gletſcher, die jedoch weit unter die Schneegrenze herabreichen, ihr Entſtehen. Sie bilden ſich da, wo das Schmelzen des Schnees im Sommer theils durch Regen, theils durch Sonnenwärme noch ſtatt findet und wo daher der Schnee, weil ein vollſtändiges Aufthauen bis in die Thäler hinab nicht möglich iſt, ſich in eine dichte Eismaſſe verwandelt. Die ſo entſtandenen Eismaſſen füllen die Gebirgsthäler und lagern ſich an den Abhängen, und indem ſie an den Abhängen alljährlich, durch Abthauen an der untern Grenze, ihre Stützpunkte verlieren, ſinken die höher liegenden Maſſen allmälig immer tiefer herab und gelangen in Gegenden, die weit niedriger liegen, als es der eigentlichen Schneegrenze, derjenigen Höhe nämlich, wo der jährlich fallende Schnee nicht mehr ganz aufthaut, gemäß

und die Temperatur deſſelben auf den Gefrierpunkt herabbringen. Hierauf werden die fortdauernd gebildeten Eistheilchen durch die mechaniſche Gewalt des Waſſers in die Tiefe hinabgedrückt, gefrieren hier an den hervorragenden Gegenſtänden und werden durch andere hinzukommende vermehrt. (M.)

iſt. Auf dieſem Umſtande beruht es, daß die Gletſcher ſich gegen ihre untern Grenzen hin an der Erdfläche unterhöhlt zeigen, und daß Ströme ihren Urſprung aus den Gletſchern, wo ſie aus Eisgewölben hervorſtrömen, haben. Die Erde nämlich hat in der Gegend, wo ſie noch mit Gletſchereis bedeckt iſt, eine größere Wärme als die Nulltemperatur, und obgleich ſie an der Oberfläche ſelbſt durch das aufliegende Eis unaufhörlich abgekühlt wird und ihre Wärme durch das Aufthauen des Eiſes verliert, ſo bringt doch die ſtetige, wenn gleich langſame, Zuleitung der Wärme aus dem Innern der Erde unaufhörlich neue Wärme an die Oberfläche, wodurch das Aufthauen des Eiſes unterhalten wird. So höhlt ſich alſo der untere Theil des Eiſes aus, und wenn nun im Sommer die untern Ränder der Gletſcher wegthauen, ſo rücken die höher liegenden Eismaſſen herab und drängen ſich oft mit ſolcher Gewalt vorwärts, daß ſie bebautes Land und ſelbſt Wälder vor ſich herſchieben, wobei oft weite Strecken des bebauten Landes überdeckt und verwüſtet werden. Dieſes Vorrücken der Gletſcher iſt in kalten Sommern und nach ſchneereichen Wintern oft ſo bedeutend, daß ſie Flächen von 1000 Fuß Breite in wenigen Jahren neu bedecken, wogegen ſie in warmen Sommern ſich wieder etwas zurückziehen; doch ſcheint die allgemeine Erfahrung in unſerm Jahrhundert im Ganzen auf ein Wachſen hinzudeuten. Jenes allgemeine Vorrücken aber, welches oft nur darin beſteht, daß die höhern Maſſen den Platz der abgethauten einnehmen, findet in jedem Jahre ſtatt. Es iſt mit dem Entſtehen der tief hinabgehenden Spalten verbunden, die durch das Abtrennen der niedrigern Maſſen, welche dem Thale zu rücken, von den noch ruhend bleibenden entſtehen. Dieſe Spalten erſtrecken ſich oft, vielleicht gewöhnlich, bis an die untern Höhlungen, in welchen das aufgethaute Waſſer am Boden fortfließt, und es ſind einzelne Fälle vorgekommen, wo Menſchen, die in den Spalten hinabgeſtürzt waren und glücklich genug den Boden unverletzt erreichten, aus dieſen Eisgewölben, die dem Waſſer den Ausfluß geſtatten, ſich wieder hervorarbeiteten. Dieſe Spalten rücken ſelbſt mit hinab und dem Thale zu, indem jede oben ſich ablöſende Maſſe herabſinkt, wenn das Abthauen ihr unten die Stütze raubt und ſo geſchieht es, daß Körper, die vor mehreren Jahren in eine ſolche Spalte hinabgefallen ſind, ohne den Boden zu erreichen, endlich an der Seite des Gletſchers auf der Oberfläche ſichtbar werden. Fig. 20 (Taf. XI.) ſtellt dieß dar. Denn wenn hier, nachdem bei B das Eis abgethaut iſt, die nachrückende Maſſe A den Raum einnimmt, den früher die Maſſe B einnahm, ſo iſt ein bei a in der dort angezeigten Spalte hinabgefallener Körper jetzt in b auf der freien Oberfläche. Von den Gletſchern an der Küſte der Davisſtraße ſcheinen die großen Eismaſſen in das Meer herabzugleiten, die als Eisberge in jenen Gegenden ſo häufig ſind und zuweilen Erde und Steine mit ſich fortführen.[1]

[1] Ueber die Gletſcher ſind in den letzten Jahren ſehr werthvolle Forſchungen angeſtellt worden. Namentlich iſt folgendes Werk zu erwähnen: Unterſuchungen über die Gletſcher von Agaſſiz. Solothurn 1841. (M.)

Auch die Lawinen gehören zu den großen Naturerſcheinungen, die von der Entſtehung des Schnees abhängen. Sie entſtehen theils im Winter, wenn friſch gefallener, lockerer Schnee irgendwo ſeine Stützpunkte verliert und nun über einer ſtark geneigten Ebne herabgleitet oder gar über Abhänge herabſtürzt, theils im Frühling, wenn die dicht gelagerten Schneemaſſen durch Aufthauen an den Stellen, wo ſie eine Stütze fanden, zum Stürzen kommen. Die erſten ſtürzen mit mehr Schnelligkeit in das Thal hinab, und da durch die entſtandene Erſchütterung gewöhnlich eine große Maſſe Schnee in Bewegung kömmt, da dieſe in ihrem ſchnellen Sturze die Luft heftig zuſammendrückt und Bäume und Häuſer im Sturme mit ſich fortreißt, ſo werden dieſe Winterlawinen für gefährlicher gehalten, als die beim Frühlingsthauwetter gewöhnlich langſamer herabkommenden, aber da, wo ſie hinfallen, mit ihrer dichten Maſſe alles begrabenden Frühlingslawinen.

Künſtliche Kälte, durch Miſchungen hervorgebracht.

Aus den Erſcheinungen der latent werdenden Wärme beim Aufthauen laſſen ſich die hohen Kältegrade erklären, die man durch Miſchungen von Salzen und Schnee oder von Salzen und Säuren hervorbringt. Indem nämlich dieſe Körper in den flüſſigen Zuſtand übergehen, reißen ſie die Wärme mit großer Gewalt an ſich und kühlen die benachbarten Körper ſtark ab. Schon gewöhnliches Salz mit Schnee gemiſcht bringt eine viel größere Kälte hervor als bloß ſchmelzender Schnee, noch wirkſamer aber iſt eine Miſchung von ſalzſaurem Kalk (fixem Salmiak) mit Schnee. Wenn der ſalzſaure Kalk cryſtalliſirt und dann zerſtoßen iſt, ſo muß man ungefähr doppelt ſo viel von demſelben als vom Schnee nehmen und dieſe Körper ſchichtenweiſe miſchen; dann entſteht eine bis auf 40 Grad R. gehende Kälte, in welcher das Queckſilber gefriert. Man thut wohl, den Verſuch nur in einer Umgebung, die wenigſtens 6 bis 8 Grad R. kalt iſt, anzuſtellen, und ſich eines weiteren Gefäßes mit Schnee und Salz gefüllt zu bedienen, um ſchon eine Kälte von 18 bis 20° zu bewirken; ſetzt man dann in dieſes das kleinere Gefäß, worin der Schnee mit ſalzſaurem Kalk gemiſcht werden ſoll, und hat von dieſem nicht zu wenig vorräthig, ſo wird man das Queckſilber gewiß zum Gefrieren bringen. Ein nicht zu geringer Vorrath iſt erforderlich, um die entſtandene Kälte, die wegen der äußern, gewöhnlich um 20 bis 30 Gr. höhern, Temperatur bald geringer zu werden geneigt iſt, lange genug zu unterhalten.

Schnee mit Kochſalz und etwas Salpeterſäure gemiſcht bringt eine bedeutende Kälte hervor, ſelbſt wenn die äußere Luft ziemlich hoch über den Gefrierpunkt erwärmt iſt; aber mit einer Miſchung von gleich viel Schnee und Salpeterſäure bei + 14° Wärme eine Kälte von — 35° hervorzubringen (wie man es wohl erreicht hat) iſt nur bei Anwendung ſehr bedeutender Quantitäten und durch Umgebung des Hauptgefäßes mit einer ſehr erkältenden Miſchung möglich. [1]

[1] Statt zweier Gefäße kann man auch drei oder mehrere, die nach der Reihe abnehmen und

Auf welche Weiſe noch weit größere Kälte hervorgebracht werden kann, wird ſpäter gezeigt werden.

Abſoluter Nullpunkt der Wärme.

Die Ueberzeugung, daß weder die Gefrierkälte des Queckſilbers, noch irgend ein von uns künſtlich zu bewirkender Kältegrad derjenige iſt, wo man von wirklichem Mangel aller Wärme reden dürfte, hat zu der Frage Veranlaſſung gegeben, wie tief denn das Thermometer bei dem gänzlichen Mangel aller Wärme ſinken würde. Die Frage iſt offenbar nicht zu beantworten, indeß giebt folgende Betrachtung doch einen Begriff von der Art, wie man ſie zu beantworten geſucht hat. Wenn man eine Wärmequantität, die das Waſſer um 9 Grad erwärmt, anwendet, um ſehr kaltes Eis zu erwärmen, ſo ſteigt bei gleichem Gewichte des Waſſers und Eiſes die Temperatur des Eiſes um 10 Grad. Die Capacität des Waſſers iſt alſo um ein Neuntel größer als die des Eiſes, das heißt, dem Waſſer muß $^{10}/_{9}$ des Wärmeſtoffes, deſſen das Eis bedarf, zugeführt werden, wenn man es um 1 Gr. erwärmt werden ſoll; wenn wir dieß ſo auslegen, daß auch im Waſſer bei gleicher Temperatur $^{10}/_{9}$ ſo viel Wärmeſtoff, als im Eiſe vorhanden iſt, ſo muß die 75 Graden Cent. entſprechende latente Wärme des Waſſers ein Neuntel der bei 0 Gr. im Eiſe enthaltenen Wärmequantität betragen. Hiernach wäre —675° Cent. das abſolute Null der Wärme, nämlich Eis, das 675° Wärme über dem abſoluten Null enthält, bekömmt noch ein Neuntel = 75° hinzu, um Waſſer zu geben.

Dieſer Schluß iſt in ſehr vieler Hinſicht unſicher, da wir über die bei veränderter Temperatur vielleicht ſehr veränderte Wärmecapacität des Eiſes gar nichts wiſſen, ja nicht einmal über jene Wärmequantitäten eine recht klare Anſicht beſitzen. Es iſt auch wohl gewiß, daß wir aus den latenten Wärmen anderer Körper und ihren ſpecifiſchen Wärmen vor und nach dem Erhärten ganz andere Zahlen erhalten würden. Ebenſo unſicher ſcheint mir die Behauptung, daß der abſolute Nullpunkt bei —213° R. oder 266⅔° Cent. liegen müſſe, weil die Luft ſich von 1 bis $^{214}/_{213}$ ausdehnt, wenn die Wärme um 1° R. zunimmt, oder von 1 bis $^{267}/_{266}$, wenn die Wärme um 1° Cent. zunimmt. Allerdings findet dieſe Ausdehnung bei den mittlern Temperaturen gleichmäßig ſtatt; aber bei ſehr tiefen Temperaturen kann ja vielleicht der luftförmige Zuſtand aufhören, und dann hört gewiß auch die Gültigkeit jenes Schluſſes auf, daß die Zunahme des Volumens der Zunahme der Wärme proportional ſey. [1]

alle mit kaltmachenden Miſchungen gefüllt ſind, anwenden. Das äußerſte beſteht am beſten aus Holz, Thon oder Porzellan, überhaupt aus einer ſchlecht leitenden Subſtanz, die inneren aus dünnem Metallblech. (M.)

[1] Die erſte der beiden angegebenen Beſtimmungen rührt von Benzenberg her; die zweite, von Joh. Tob. Mayer und ſpäter von Desormes und Clement gefundene, wird von den meiſten Phyſikern als richtig angenommen. Legt man die von Rudberg gefundene Ausdehnung der Luft zum Grunde, ſo findet man als abſoluten Nullpunkt —275° Cent. oder —220° R. Ganz abweichend iſt freilich das von Dalton erhaltene Reſultat. Dieſer leitete den abſoluten Nullpunkt aus der ſpecifiſchen Wärme der Körper ab, wie ſie bei Miſchungen zum Vorſchein kommt, ſand als Mitte

Schmelzpunkte verſchiedener Körper.

Es ſcheint hier der Ort zu ſeyn, über die Gefrier- und Schmelzpunkte (denn beides ſagt im Grunde ziemlich daſſelbe) der Körper etwas Näheres mitzutheilen. Reiner Alkohol gefriert nicht ſchon, wie Hutton gefunden haben wollte, bei —79° Cent., ſondern nach den neuern Beſtimmungen (beſonders von Thilorier) erſt unter —100° Cent., und bei keiner auf der Erde vorkommenden oder bisher erreichbaren Kälte vollſtändig; nur wird er in ſehr großer Kälte dickflüſſig und zähe und gleicht bei —90° Cent. hinſichtlich ſeiner Conſiſtenz dem Oel, bei —99° Cent. dem Wachs. Vom Queckſilber iſt der Gefrierpunkt (—39° C.) ſchon mehrfach angegeben worden. Die Gefrierpunkte einiger andern Flüſſigkeiten ſind nach der Centeſimalſcale: Schwefeläther unter —99°, Schwefelkohlenſtoff unter —52°, Salpeterſäure —54°, Schwefelſäure —40°, Salzſäure unter —40°, Saſſafrasöl —30½, Terpentinöl unter —27, Mohn- und Nußöl —20 Grad (die Oele verhalten ſich hinſichtlich ihrer Schmelzpunkte ſehr verſchieden). Seewaſſer friert erſt bei 2½ — 3, ja nach Perrot erſt bei —5° Cent. (bewegt bei geringerer Kälte als ruhig).

Die Schmelzpunkte einiger feſter Körper ſind: Butter +32, Talg 40, Phosphor 43, Wallrath 45, Wachs 61½, Schwefel 108 — 111, Zinn nach den verſchiedenen Angaben 223 — 267, Wismuth 247 — 265, Blei 262 — 312, Zink 371 — 374, Antimon 432 — 513, Silber 1000, Kupfer 1050, Gußeiſen 1050 — 1200, Gold 1200, Stahl 1300 — 1400, Nickel und Kobalt 1500, Eiſen 1600, Platin, Palladium, Alaun-, Kieſel-, Zirkonerde 1700, Osmium, Strontium, Baryum, Iridium, Uran, Titan, Kalk 1800 Grad Cent.

Die Schmelzpunkte der ſchwerflüſſigen Metalle (vom Silber an) ſind hier nach Pouillet angegeben, deſſen Beſtimmungen gegenwärtig als die genaueſten zu betrachten ſind. Daniell fand mit ſeinem Pyrometer (wenn deſſen Grade reducirt werden) für Meſſing 1015, für Silber 1222, für Kupfer 1398, für Gold 1421, für Gußeiſen 1915 Grade Cent. Die mittelſt des Wedgwood'ſchen Pyrometers gefundenen, größtentheils weit höhern Beſtimmungen, wonach z. B. Gußeiſen erſt bei 11414° gänzlich, bei 9990° theilweiſe, Gold bei 2892, Silber bei 2603° ſchmelzen ſoll, haben ihr früheres Anſehn völlig verloren. Der am ſchwerſten ſchmelzbare Körper ſcheint die Kohle zu ſeyn.

Hinſichtlich der zuſammengeſetzten Körper muß übrigens bemerkt werden, daß Miſchungen im Allgemeinen nicht nur bei einer geringern Wärme, als der durchſchnittlichen Höhe der Schmelzpunkte ihrer einzelnen Beſtandtheile gemäß iſt, ſondern ſogar oft leichter als der leichtflüſſigſte ihrer Beſtandtheile ſchmelzen. Namentlich gilt dieß von Metallen. Das ſogenannte Roſe'ſche Metall, eine Compoſition von Wismuth, Blei und Zinn (nach Roſe nimmt

aus ſehr verſchiedenen Beſtimmungen 3415° C. und ſetzt dieſes auf 3350° C. (6000° F.) herab. Daß ſeine Methode das wenigſte Vertrauen verdient, kann wohl nicht zweifelhaft ſeyn. (M.)

man von dem erſten 2 Th., von jedem der andern 1 Th., nach Döbereiner am beſten 284 Th. Wismuth, 207 Th. Blei, 118 Th. Zinn, doch iſt eigentlich kein beſtimmtes Verhältniß nöthig), braucht nicht ganz die Kochhitze des Waſſers, um zu ſchmelzen, [1] während ſeine einzelnen Beſtandtheile 2—300 Grad brauchen. Das ſogenannte Schnellloth, aus Blei und Zinn beſtehend, ſchmilzt gleichfalls viel leichter als ſeine Beſtandtheile und zwar am leichteſten, wenn man 2 Th. Blei und 3 Th. Zinn nimmt, bei 169° Cent. Die ſchwerflüſſigen Metalle macht man durch Zuſatz anderer Stoffe flüſſig, ſelbſt Eiſen durch Kohle; hierauf beruht der ſogenannte Zuſchlag oder Fluß, der in den Hohöfen angewendet wird. Beim Löthen mit hartem Lothe (Zink und Kupfer) oder mit Silber brauchen die Metallarbeiter zu gleichem Zwecke Borax, beim Schnellloth oder reinem Zinn Kolophonium. Selbſt die im ſtärkſten Eſſenfeuer unſchmelzbaren Erden werden durch Verbindung ſchmelzbar; ſo ſchmilzt Kieſelerde mit Thonerde zuſammen, ja mit Kali oder Natron vereint ſchon im Lampengebläſe oder in derjenigen Flamme, die beim Glasblaſen angewandt wird.

Vierundfünfzigſte Vorleſung.

Entſtehung der Dämpfe.

Schon neulich habe ich eine zweite Erſcheinung, bei welcher Wärme latent wird, erwähnt, die Bildung der Dämpfe. Daß bei ihrer Erzeugung ein Wärmeaufwand ſtatt findet, ohne eine Erhöhung der Temperatur hervorzubringen, iſt ſchon daraus klar, daß kochendes Waſſer durch verſtärktes Feuer zwar zu heftigerem Aufwallen, zu ſchnellerem Verdampfen, aber nicht zu einer größeren Wärme gebracht wird; die zuſtrömende Wärme wird alſo latent, ſie vereinigt ſich mit dem Waſſer, um ein neues, elaſtiſches Fluidum, den Dampf, hervorzubringen.

Da wir jedes der Luft ausgeſetzte Waſſer ſich allmälig vermindern ſehen und da auch die Dämpfe des kochenden Waſſers ſich in der Luft verlieren, ſo war es ein ſehr natürlich ſcheinender Gedanke, der Luft eine auflöſende Kraft beizulegen, vermöge welcher ſie das Waſſer in ſich aufnähme, und dieſer Gedanke hat lange Zeit bei den Phyſikern Beifall gefunden. Aber ſeine Unrichtigkeit erhellt ſchon aus der einfachen Erfahrung, daß die gewöhnliche Verdunſtung in niedrigen Temperaturen nicht allein ebenſo gut, ſondern ſogar weit ſchneller im luftleeren Raume, alſo da ſtatt findet, wo jenes angebliche Auflöſungsmittel gänzlich fehlt. Dagegen bewährt ſich die Regel als eine ohne Ausnahme geltende, daß die Verdampfung, ſie geſchehe langſam in niedrigen Temperaturen oder heftig beim Kochen, ſie finde im luftvollen oder

[1] Am leichteſten ſchmilzt es, wenn man 8 Th. Wismuth, 8 Th. Blei, 3 Th. Zinn nimmt, nämlich bei 94—95° Cent.

im luftleeren Raume ſtatt, immer mit Wärmeaufwand verbunden iſt. Der benetzte Finger, den wir der Luft darbieten, lehrt uns durch die in ihm erzeugte Empfindung von Kälte, daß das verdunſtende Waſſer dem Körper, an welchem es ſich befindet, Wärme entreißt, und die Erfahrung des Landmannes, daß bei ſchwachem Winde die Richtung des Windes ſich dadurch kenntlich macht, daß die dem Winde ausgeſetzte Seite des naſſen Fingers mehr erkaltet, giebt einen Beweis für den vermehrten Wärmeaufwand an der Seite, wo der Wind die Ausdünſtung beſchleunigt. Doch die Beweiſe für die bei der Verdampfung latent werdende Wärme bieten ſich uns in der Folge noch auffallender dar.

Elaſticität der Dämpfe.

Die Dämpfe ſind ein elaſtiſches, in vieler Hinſicht der Luft ähnliches Fluidum. Um ſich von der Elaſticität derſelben zu überzeugen, iſt vielleicht kein Verſuch beſſer geeignet, als der folgende, wo ſich die Dämpfe in gewöhnlicher Luftwärme entwickeln und ſogleich eine bedeutende Queckſilberſäule tragen. Man bedient ſich zweier verbundener Glasröhren TT, FA (XI. Fig. 21), deren eine TT oben ganz offen bleibt, die andere FA mit einem Hahne Y oben geſchloſſen werden kann. Füllt man nun, indem man den oberen Anſatz ganz abſchraubt, beide Röhren bis an Hh mit Queckſilber, ſo ſteht dieſes gewiß in beiden Röhreu gleich hoch, weil der freie Luftdruck auf beide Oberflächen ſtatt findet, und eben das dauert fort, wenn man das obere Stück mit dem ſchließenden Hahne wieder aufſchraubt. Dieſer Hahn Y, der gar keine Bohrung hat, dient bei jeder Stellung, um das kleine oberhalb Y befindliche Gefäß von der Röhre FA abzuſperren; aber ſeine Faſſung hat ſowohl nach oben als gegen A zu eine Oeffnung, und in der, übrigens genau cylindriſchen, Oberfläche des Hahnes ſelbſt befindet ſich eine genau unter die Oeffnung t des oberhalb Y befindlichen Gefäßes V paſſende Vertiefung, damit, wenn das Gefäß mit einer Flüſſigkeit, z. B. Aether, gefüllt iſt und dieſe Vertiefung ſich an der Oeffnung t befindet, auch ſie einen Tropfen eben jener Flüſſigkeit aufnehme. Wird nun der Hahn in ſeiner genau ſchließenden Faſſung gedreht, ſo daß der in der Höhlung aufgefaßte kleine Tropfen auf die untere Seite des Hahnes, alſo vor die nach der Röhre AF gehende Oeffnung kömmt, ſo verdampft er und dieſe Dämpfe füllen die Röhre AF; ſogleich aber ſteigt auch das Queckſilber in der anderen Röhre, während es in AF herabgedrückt wird, und man ſieht deutlich, daß die Elaſticität der Dämpfe ſtark genug iſt, um ſelbſt bei mäßiger Temperatur eine erhebliche Queckſilberſäule zu tragen. Man bedient ſich hiezu am beſten des Schwefeläthers, weil er, ſchnell verdampfend, die Wirkung ſogleich hervorbringt, und weil die Elaſticität ſeiner Dämpfe größer iſt, als die der Waſſerdämpfe.

In dieſem Experimente iſt der Erfolg zu ſehr zuſammengeſetzt, um es zu Abmeſſung der Kraft der Dämpfe anzuwenden, indem der Raum, welchen Luft und Dämpfe zuſammen einnehmen, ſich beim Zutritte der Dämpfe

vergrößert, ferner unbeſtimmt iſt, ob man ſo viele Dämpfe, als der Raum aufnehmen könnte, hervorgebracht hat u. ſ. w. Um alſo das Maaß der Elaſticität der Dämpfe zu beſtimmen, iſt eine andre Anordnung nothwendig, deren Beſchreibung ich noch einige Ueberlegungen vorausſchicken muß. Zuerſt die, daß man Dämpfe, welche den möglichſt größten Grad von Dichtigkeit beſitzen, von denjenigen unterſcheiden muß, die noch mehr von der tropfbaren Flüſſigkeit in ſich aufnehmen können. Wenn wir uns für jetzt auf bloße Waſſerdämpfe beſchränken, ſo hätte in den vorigen Verſuchen ein Tropfen Waſſer in die Röhre AF gebracht werden müſſen, und es iſt offenbar, daß ein ſehr kleiner Tropfen in einem ziemlich großen Raume vielleicht nicht hinreichen wird, um dieſen letztern mit Dampf zu füllen, daß alſo bei dem Verdampfen mehrerer Tropfen der Dampf eine größere Dichtigkeit erlangen wird; die größte Dichtigkeit, die der Waſſerdampf bei beſtimmter Temperatur erreichen kann, findet mit Sicherheit da ſtatt, wo noch Waſſer unverdampft übrig bleibt, dieſes iſt daher eine Bedingung, die bei den Unterſuchungen über die Dämpfe von größter Dichtigkeit (und dieſe ſind die wichtigſten) ſtatt finden muß. Eine andre Bemerkung betrifft ein Mittel, einen eingeſchloſſenen Raum durch Hervorbringung von Dämpfen luftleer zu machen. Da die Elaſticität der eingeſchloſſenen Luft ſich vermehrt, wenn Dämpfe ſich mit ihr vermiſchen, ſo wird ein Theil jener Luft, wenn man ihr eine Ausflußöffnung frei macht, ausſtrömen; läßt man bei bedeutender Wärme, am liebſten durch Kochen des Waſſers, ſich in jenem Raume immer neue Dämpfe entwickeln, ſo fließen zwar auch Dämpfe, aber immerfort auch Luft durch die Oeffnung aus, und der umſchloſſene, nur durch eine kleine Oeffnung mit der äußern Luft in Verbindung ſtehende Raum wird bei lange dauernder Dampferzeugung immer mehr luftleer. Wenn man nun, während die Dampferzeugung noch in dem Maaße fortdauert, daß ſie den Zutritt der Luft hindert, die Oeffnung luftdicht ſchließt, dann aber die Dämpfe abkühlen läßt, ſo gehen bei der Abkühlung die Dämpfe wieder in den tropfbaren Zuſtand über, und der nun ganz eingeſchloſſene Raum enthält keine Luft mehr, ſondern nur noch Dämpfe von einer geringen, der erniedrigten Temperatur angemeſſenen Elaſticität.

Nach dieſen Bemerkungen wird die Art, wie man den Verſuch über die Elaſticität der Dämpfe in nicht zu hohen Temperaturen anſtellt, leicht verſtändlich ſeyn. Man nimmt ein Barometer AB (XI. Fig. 22), welches mit gut ausgekochtem Queckſilber bis an A gefüllt und über A luftleer iſt, deſſen niedrigere Queckſilberfläche ſich aber in dem weitern Gefäße BC befindet. Ueber dieſe Queckſilberfläche BC bringt man etwas Waſſer und läßt dieſes eine Weile kochen, damit durch die entſtehenden Dämpfe alle Luft aus dem Gefäße BC ausgetrieben werde, dann ſchließt man, nachdem vorher das Thermometer E in dem dampfvollen Raume angebracht worden iſt, die Oeffnung D luftdicht und läßt nun die Dämpfe erkalten. So lange die Dämpfe des Waſſers die Kochhitze hatten, bei welcher ſie nämlich eine ebenſo große Elaſticität als die umgebende Luft beſitzen, erhielt ſich das Queckſilber in der Barometerröhre

bis an A, ſo wie vor dem Experimente; aber wenn die Dämpfe ſich abkühlen, ſo ſinkt allmälig das Queckſilber bei A, und wenn die Dämpfe bis zur Gefrierkälte abgekühlt ſind, ſo ſind beinahe beide Queckſilberoberflächen gleich hoch, und wir ſehen daraus, daß der Raum BCD ebenſo gut als der Raum in der andern Röhre luftleer geworden iſt und der erſtere nur noch mit Dämpfen von geringer Elaſticität angefüllt iſt. So oft man nun die Dämpfe und das noch übrige Waſſer in dem Gefäße BD erwärmt, ſo ſteigt das Queckſilber in der Röhre A; es erreicht bei gleichen Wärmegraden immer gleiche Höhen, und wenn man das Waſſer bis zu dem Grade erwärmt, bei welchem es kochte, als die Oeffnung D luftdicht geſchloſſen wurde, ſo ſteht das Queckſilber ſo hoch, als es, dem damaligen Barometerſtande gemäß, zu jener Zeit ſtand. Dieſes Apparates bediente ſich G. G. Schmidt, um die Elaſticität der Dämpfe bei verſchiedenen Wärmegraden zu beobachten; Dalton's Verſuche ſind etwas anders angeſtellt worden. Dieſer brachte in eine gerade Barometerröhre, die mit ausgekochtem Queckſilber gefüllt war, etwas Waſſer, und indem er ſie dann auf die bekannte Weiſe mit dem offenen Ende in ein Gefäß mit Queckſilber tauchte und das Waſſer zum Hinaufſteigen auf die Oberfläche des Queckſilbers brachte, erhielt er ein gewöhnliches Barometer, in deſſen luftleerem Raume ſich Waſſer befand und Dämpfe entwickelten. Die Barometerröhre wurde nun durch den Boden eines Gefäßes geſteckt und darin verkittet; das Gefäß wurde mit Waſſer (oder für Verſuche, die über die Kochhitze des Waſſers hinaus gehen ſollten, mit Oel oder Queckſilber) gefüllt und durch die Erhitzung deſſelben auch das Waſſer in der Barometerröhre zu ſchwächerer oder ſtärkerer Verdampfung gebracht. So wie nun bei erhöhter Wärme, die durch ein Thermometer mit cylindriſchem Gefäße gemeſſen wurde, die Elaſticität der Dämpfe zunahm, ſo fiel das Queckſilber im Barometer, und der Unterſchied zwiſchen der Queckſilberhöhe im gewöhnlichen Barometer und in dieſem Barometer gab die elaſtiſche Kraft der Dämpfe bei jeder Wärme an. Wenn in dieſem Barometer die Queckſilberſäule ſo weit herabgedrückt war, daß beide Oberflächen gleich hoch ſtanden, ſo hatten die Dämpfe diejenige Wärme, wobei auch im Freien das Waſſer kochte, und es zeigt ſich alſo deutlich, daß die Kochhitze in einem nicht geſchloſſenen Gefäße diejenige iſt, bei welcher die Dämpfe eine ebenſo große Spannkraft beſitzen, als die atmoſphäriſche Luft.

Erſcheinungen des Kochens.

Nun erſt überſehen wir alſo recht genau die Erſcheinungen des Kochens, und dieſe verdienen daher hier noch einmal im Zuſammenhange dargeſtellt zu werden. Wenn wir Waſſer unter dem gewöhnlichen Drucke der Luft erhitzen, ſo ſehen wir zuerſt die dem Waſſer beigemiſchte Luft entweichen, dann folgt ein eigenes Geräuſch, als Vorbote des Kochens, endlich erfolgt das fortdauernde Aufwallen, wobei vom Boden des Gefäßes Dampfblaſen aufſteigen. Die Verdampfung nämlich findet bei einer mäßigen Wärme nur an der Oberfläche

ſtatt, und obgleich ſie dort bei erhöhter Temperatur immer lebhafter fortgeht, ſo kommen doch, ſo lange die Kochhitze noch nicht erreicht iſt, immer noch nicht aus dem Innern der Waſſermaſſe Dämpfe hervor. Wenn der Boden des Gefäßes die Kochhitze erreicht hat, das Waſſer aber noch nicht in gleichem Maaße durchwärmt iſt, ſo fangen Dämpfe an, ſich am Boden des Gefäßes zu bilden und als elaſtiſches Fluidum in Form kleiner Blaſen aufzuſteigen; aber dieſe kleinen Dampfblaſen treten ſogleich in etwas kälteres Waſſer, wo ſie wieder zu Waſſer werden, und indem neue Blaſen ſich unaufhörlich wieder erzeugen und wieder zerfallen, ſo bringt dieſe in jeder Secunde oftmals wiederholte Erneuerung gleicher kleiner Bewegungen den Ton hervor, den man wohl das Singen oder Simmern des Waſſers vor dem Kochen nennt. Steigt dann die Wärme noch etwas höher, wird das Waſſer in allen ſeinen Theilen bis zur Kochwärme erhitzt, ſo ſteigen die Dampfblaſen bis an die Oberfläche herauf, und das Waſſer erreicht nun bei offenem Kochen keine höhere Temperatur. Die ſo am Boden des Gefäßes erzeugten Dämpfe haben diejenige Elaſticität, welche nöthig iſt, um den Druck der Atmoſphäre und den Druck der über ihnen ſtehenden Waſſerſäule zu überwinden, oder, da der letztere ziemlich unbedeutend zu ſeyn pflegt, den Druck, deſſen Maaß die Barometerhöhe angiebt.

Wenn man ſich auf hohen Bergen befindet, ſo tritt, wie Sie ſich erinnern, das Kochen ſchon bei einem niedrigern Wärmegrade ein (z. B. auf dem Montblanc bei 86½° C.), und auch bei einem erheblichen Falle des Barometers in unſern Gegenden, z. B. bis 26 Zoll, erreicht das kochende Waſſer einen geringern Grad von Wärme, weil die nicht ſo warmen Dämpfe ſchon den nur 26 Zoll betragenden Luftdruck durch ihre Elaſticität überwinden, wozu ſie nicht im Stande wären, wenn das Barometer auf 27 oder 28 Zoll ſtände. Hieraus entſteht in hoch liegenden Gegenden (z. B. in dem Hoſpiz auf dem St. Bernhard, in Quito und Mexico) eine Unbequemlichkeit, wenn man ſich offener Gefäße zum Kochen bedient, indem der Erfolg des Kochens, ſofern wir uns dieſes Mittels bedienen, um unſre Speiſen zu bereiten, bei dieſer geringern Wärme nicht vollkommen genug hervorgeht. In ſo hochliegenden Gegenden, wo die Kochwärme bei freier Oberfläche nicht hinreichen würde, um Speiſen weich zu kochen, muß man ſich daher der ganz geſchloſſenen Gefäße bedienen. Die Rumford'ſchen Töpfe ſind ſo eingerichtet, daß man ihren Deckel unter einen ſie oben einfaſſenden Rand ſchiebt, ſo daß der von innen kommende Druck des Dampfes den Deckel nicht heben kann. In dem nun ganz geſchloſſenen Raume entwickeln ſich die Dämpfe, aber da ſie ſich nicht ganz frei entwickeln können, ſo erhitzt das Waſſer ſich mehr, weil die zunehmende Elaſticität der ſchon entwickelten Dämpfe die Entſtehung neuer erſchwert, und ſo kann man in dieſen Gefäßen in höheren und in niedrigeren Gegenden gleich gut eine ſehr hohe Temperatur des in Kochen geſetzten Waſſers hervorbringen. Dieſe ganz geſchloſſenen Töpfe müſſen mit einem Sicherheitsventile verſehen ſeyn, das heißt, mit einer Oeffnung, die von außen geſchloſſen iſt, deren Deckel aber ſich hebt und einige Dämpfe hervorgehen läßt, wenn der Druck von innen

ſehr bedeutend wird. Dieſes iſt nothwendig, weil die Dämpfe bei zu großer Erhitzung und dadurch ſteigender Elaſticität den Topf zerſprengen würden, wenn ihnen nicht bei einem beſtimmten, noch nicht allzu hohen Grade von Elaſticität das Ventil einen Ausgang geſtattete.[1]

Wie hier im ganz verſchloſſenen Raume, bei einem durch die ſchon entſtandenen Dämpfe vermehrten Drucke, das Kochen ſelbſt bei verſtärkter Hitze noch nicht eintritt, ſo findet es umgekehrt bei niedrigern Graden der Wärme ſtatt, wenn das Waſſer ſich in verdünnter Luft befindet. In dem faſt luftleeren Raume unter der Luftpumpe kocht das Waſſer ſchon bei 23° R. (29° Cent.), wenn die verdünnte Luft noch einen Zoll Queckſilber in der Barometerprobe zu tragen vermag; es kocht bei 14½° R. (18° Cent.), wenn das Barometer ½ Zoll hoch ſteht, bei 7° R., wenn es ¼ Zoll hoch ſteht u. ſ. w. Die Blaſen, die man dann bei fortgeſetztem Auspumpen der Luft im Waſſer aufſteigen ſieht, ſind Dampfblaſen, die unerſchöpflich, immer neu hervorgehen. Eben dieſes Erſcheinen von Dampfblaſen ſieht man im Waſſerhammer (XI. Fig. 23), wenn man das Gefäß A mit der Hand erwärmt. Da hier die Luft ganz entfernt und dann das Gefäß geſchloſſen worden iſt, ſo leidet die Oberfläche des Waſſers nur einen ſehr geringen Druck, und wenn man die in dem Gefäße und der Röhre enthaltene Flüſſigkeit ſo vertheilt, daß die Röhre BC bis D, das Gefäß bis E gefüllt iſt, ſo vermehrt man durch die Wärme der Hand die Entſtehung der Dämpfe leicht ſo ſehr, daß ſie durch die enge Röhre bei B dringen und durch die Flüſſigkeit BD aufſteigen. Dieſe Dampfblaſen kann man, da die obere Flüſſigkeit BD nicht durch die Hand erwärmt wird, leicht in ſolchem Maaße hervorgehen laſſen, daß ſie zwar bei B eintreten, aber die Oberfläche D nicht erreichen, ſondern in dem kalten Theile der Flüſſigkeit ihre Elaſticität wieder verlieren, und hierin liegt der beſte Beweis, daß man keine Luft aus dem Raume über E (der übrigens auch wirklich luftleer iſt) hinübertreibt, ſondern bloß Dämpfe. Wenn bei dem Verſchwinden der Dampfblaſen das Waſſer zurückfällt, ſo giebt dieß einen lebhaften Laut, ſo wie denn überhaupt das gegen das Ende der Röhre anſchlagende Waſſer hier, weil keine Luft Widerſtand leiſtet, mit einem ziemlich lauten Schalle anſchlägt, woher auch der Name Waſſerhammer entſtanden iſt. Hierher gehört auch die nach ihrem Erfinder genannte Franklin'ſche Röhre, auch Pulshammer genannt, eine an beiden Enden gebogene Glasröhre mit einer Kugel an jedem Ende, in der ſich eine Miſchung aus Waſſer und Weingeiſt befindet, die in der einen Kugel ſiedet, wenn man die andre mit der Hand erwärmt.

Zur Beſtimmung des Siedepunktes nimmt man denjenigen Barometerſtand an, bei welchem der Siedepunkt des Thermometers beſtimmt wurde. Einige Flüſſigkeiten kochen ſchon bei niedrigern Temperaturen als das Waſſer, z. B. Schwefeläther bei 38 bis 40° Cent., Schwefelkohlenſtoff bei 43 bis 47° Cent., reiner Alkohol bei 78 bis 79° Cent., Steinöl bei 85° Cent., Naphtha bei

[1] In einem ſolchen verſchloſſenen Topfe kann man die Hitze des Waſſers bis zur Schmelzhitze des Zinnes und höher treiben. (M.)

$85\frac{1}{2}^0$ Cent., andre bei höheren Temperaturen, z. B. Eſſig über 100, Terpentin bei 293, Schwefelſäure bei etwa 300° Cent., Queckſilber bei 356° Cent. Aber bei welcher Wärme ſie auch im Freien zum Kochen gelangen, allemal haben bei ihrer Kochwärme die aus ihnen aufſteigenden Dämpfe die gleiche Elaſticität, ſie üben nämlich den Druck aus, welchen die Barometerhöhe in dem Augenblicke anzeigt. [1]

Mittel, die Elaſticität der Dämpfe bei höhern Temperaturen zu beſtimmen. Größe dieſer Elaſticität für alle Wärmegrade.

Die Anwendung der Dämpfe zur Bewegung von Maſchinen hat Veranlaſſung gegeben, die Elaſticität der Dämpfe auch bei ſtarker Erwärmung zu beſtimmen, und wir beſitzen zahlreiche Verſuche über dieſen Gegenſtand, der gleichwohl noch immer nicht erſchöpft iſt. Unter den verſchiedenen Mitteln, die man angewendet hat, um die alsdann ſehr ſtark wachſende Elaſticität der Dämpfe zu meſſen, ſcheint mir die von Arzberger angewandte Einrichtung vorzüglich eine Erwähnung zu verdienen, weil ſie den von den Dämpfen ausgeübten Druck ſo unmittelbar angiebt. In einer Metallröhre ABC (XI. Fig. 24), ſtark genug, um ſelbſt durch heftige Preſſung von innen nicht zerſprengt zu werden, iſt bei A das Thermometer angebracht, an deſſen aus der Röhre hervorragendem oberen Theile die Temperaturen abgeleſen werden. Die Oeffnung C iſt durch ein genau paſſendes Kugelventil geſchloſſen, welches durch Gewichte E, an dem um D beweglichen Hebelarme DF angehängt, mit bekannter Gewalt zugedrückt wird. Die Röhre wird durch eine Druckpumpe vermittelſt der Röhre bei H gefüllt und unterdeß die Luft bei G ſowohl als bei C ausgelaſſen. Iſt die Röhre gefüllt, das Waſſer durch Auskochen von Luft befreit und dann durch Hähne bei G und B völlig eingeſchloſſen, ſo erhitzt man die Röhre ABC und belaſtet nun die Schale E mit Gewichten; offenbar braucht man nur Achtung zu geben, wie hoch das Thermometer im Innern in dem Augenblicke ſteht, da der Dampf, den Druck des Gewichtes überwindend, das Ventil bei C hebt, aus der bekannten Größe des Ventils ergiebt ſich dann der Druck der Dämpfe auf einen Quadratzoll und hieraus auch leicht die Höhe der Queckſilberſäule, die dieſer Druck zu erhalten im Stande wäre.

Noch vollkommener ſind indeß die von Arago und Dulong angeſtellten Verſuche, weil dieſe faſt unmittelbar die Queckſilberhöhen beobachteten, die der Elaſticität des Dampfes bei beſtimmter Wärme entſprechen. Sie bedienten ſich einer Röhre, worin die comprimirte Luft dem Dampfe das Gleichgewicht hielt, und da mit eben demſelben Apparate die beſtimmten Queckſilberſäulen entſprechende Dichtigkeit der Luft beobachtet war, ſo konnte man die Verſuche ſo

[1] Merkwürdig iſt der Einfluß, welchen die Gefäße ausüben. In allen metallenen Gefäßen, nur das Kupfer ausgenommen, ſiedet das Waſſer bei geringerer Wärme als in gläſernen. Den größten Unterſchied (zwiſchen Platin und Glas) fanden Muncke und Gmelin = $1\frac{3}{8}^0$ Cent. (1,1° R.). Ferner ſieden alle Flüſſigkeiten, vorzüglich die flüchtigeren, in offenen weiten Gefäßen bei weit niedrigeren Temperaturen, als in engen Glasröhren; die Haupturſache dieſer Erſcheinung ſcheint in der Adhäſion der Flüſſigkeit an die Wandungen des Gefäßes zu liegen. (M.)

anſehen, als ob ſie eine unmittelbare Vergleichung der Queckſilberſäulen mit den Preſſungen der Dämpfe enthielten. Der Apparat war zwar ſeiner Größe wegen ſchwierig zuſammengeſetzt, aber die ganze Anordnung iſt gleichwohl ſehr einfach. Es ſtand nämlich (XI. Fig. 25) an der einen Seite eines mit Queckſilber gefüllten eiſernen Gefäßes A die mit Luft gefüllte geſchloſſene Manometerröhre B einer oben offenen gegen 70 Fuß hohen Glasröhre C gegenüber, die ſich nach und nach mit Queckſilber füllte, und die Zuſammenſetzung dieſer Röhre forderte ſehr ſchwierige Vorſichten. Indem man nun durch die Oeffnung D mit Hülfe einer Waſſerpreſſe einen ſehr heftigen Druck auf die Oberfläche des Queckſilbers anbrachte, ſtieg von den in A enthaltenen hundert Pfund Queckſilber immer ſo viel in die Röhre C hinauf, als das Gleichgewicht gegen jenen heftigen Druck forderte, und zugleich wurde die bei B eingeſchloſſene Luft in einen engern Raum gedrängt und dabei auch die Röhre B zum Theil mit Queckſilber gefüllt. Die Beobachtung zeigte, welchem Drucke der Queckſilberſäule C die verſchiedenen Verdichtungen der Luft B entſprachen, und nachdem man ſich ſo überzeugt hatte, daß ſelbſt bis zu einem Drucke von 27 Atmoſphären (63 pariſer Fuß Queckſilber) die Luft in B ſich dem Mariotti'ſchen oder Boyle'ſchen Geſetze gemäß verdichtete, konnte man die Röhre C ganz weglaſſen. Statt der Waſſerpreſſe bei D brachte man nun eine Waſſerröhre DE an, die, bis an E mit Waſſer gefüllt und bei F auf den Dampfkeſſel befeſtigt, dazu diente, den vollen Druck der Dämpfe auf die Oberfläche des Queckſilbers in A zu beobachten. Die Verſuche wurden bis zu einem Drucke der Dämpfe, welcher 24 Atmoſphären betrug, fortgeſetzt (weiter gelangen konnte man nicht, weil zu viel Waſſer und Dampf aus dem Keſſel entwich), und nach dem dadurch als ziemlich ſicher angegebenen Geſetze wurde noch weiter gerechnet. Das einzige, was bei dieſen, ſonſt ſehr vollkommenen Verſuchen nicht ganz ſicher ſeyn könnte, iſt die Beobachtung der beiden, die Wärme des Waſſers und des Dampfes meſſenden Thermometer, die in mit Queckſilber umgebenen Flintenläufen in den Dampfraum eingetaucht waren (das eine faſt bis auf den Boden des Keſſels, das andre nicht ganz bis zu $1/4$ der Tiefe), und deren Röhren und Scalen ſich außerhalb befanden; indeß iſt auch in Hinſicht auf dieſe Beſtimmung der Wärme, worauf hier alles ankommt, ſo vorſichtig als möglich verfahren worden, wenn auch nicht alle Zweifel über die Genauigkeit der Wärmeangaben ganz gehoben ſind. Aus dieſen letztern Verſuchen haben ſich die Maaße der Elaſticität der ſehr erhitzten Dämpfe etwas größer als aus Arzberger's Verſuchen ergeben, ſo daß die Pariſer Verſuche bei 224 Grad Cent. ſchon einen Druck von 24 Atmoſphären angeben, während Muncke's nach Arzberger's Verſuchen geführte Rechnung nur 21 Atmoſphären giebt und die Pariſer Verſuche für 40 Atmoſph. Druck nur $252\frac{1}{2}$ Grad Cent. fordern, die von Arzberger aber 263 Grad, endlich für 50 Atmoſph. Druck jene 266 Grad Cent., dieſe 280° Cent.

Da es der Mühe werth iſt, den Druck, welchen die Waſſerdämpfe bei niedrigen und hohen Temperaturen ausüben, zu kennen, ſo theile ich noch

folgende Ueberſicht der Ergebniſſe der bisherigen Verſuche mit. Selbſt bei der Nulltemperatur iſt die Elaſticität der Dämpfe nicht ganz verſchwindend, jedoch iſt der ausgeübte Druck da nur einer Queckſilberſäule von $1\frac{1}{2}$ Linie oder 0,13 Zoll gleich, bei 25 Grad Cent. (20° R.) 0,85 Zoll, bei 50° Cent. (40° R.) 3,37 Zoll, bei 75° Cent. (60° R.) 10,75 Zoll, bei 100° Cent. (80° R.) 28 Zoll; ferner nach Angabe der Verſuche von Arago und Dulong bei 125° Cent. (100° R.) ungefähr $2\frac{1}{4}$ Atmoſph. oder 63 Zoll, bei 150° Cent. (120° R.) über $4\frac{1}{2}$, bei 175° C. (140° R.) über $8\frac{1}{2}$, bei 200° C. (160° R.) beinahe 15, bei 214,7° C. ($171\frac{3}{4}$° R.) 20, bei 226,3° C. (181° R.) 25, bei 236,2° C. (189° R.) 30, bei 244,9° C. (195,9° R.) 35, bei $252\frac{1}{2}$° C. (202° R.) 40, bei $259\frac{1}{2}$° C. (207,6° R.) 45, bei 265,9° C. ($212\frac{3}{4}$° R.) 50 Atmoſphären.

Der Alkoholdampf hat bei gleicher Wärme größere Elaſticität, welches ſchon daraus, daß der Alkohol bei 79° C. (63° R.) kocht und ſein Dampf alſo dann 28 Zoll Queckſilber trägt, erhellt; bei 50° C. iſt ſeine Elaſticität = 7 Zoll, bei 100° C. = 64 Zoll, bei 125° C. = 5 Atmoſphären. Noch größer iſt die Elaſticität der Dämpfe des ſchon bei 38° kochenden Schwefeläthers; ſie beträgt bei 38° Cent. 28 Zoll, bei 80° Cent. $4\frac{1}{2}$ Atmoſphären. Dagegen erreicht der Queckſilberdampf erſt bei der ſehr großen Hitze von 356° Cent. (285° R.), wo das Queckſilber kocht, eine elaſtiſche Kraft, die dem Drucke der Atmoſphäre gleich iſt, und bei niedrigen Temperaturen iſt daher die Elaſticität des Queckſilberdampfes ſehr unbedeutend (bei 110° C. noch nicht $\frac{1}{10000}$ Atm., bei 140° C. noch nicht $\frac{1}{1000}$, bei 180° C. etwa $\frac{1}{100}$, bei 240° C. etwa $\frac{1}{10}$, bei 300° C. beinahe $\frac{4}{10}$ Atm. u. ſ. w. [1]).

Elaſticität der Dämpfe, die nicht ihre größte Dichtigkeit haben, und der mit Luft gemiſchten Dämpfe.

Wenn in einem luftleeren Raume ſich nur wenig Waſſer befindet, ſo geht dieſes bei erhöhter Wärme gänzlich in Dampf über, und dieſer Dampf hat, ſo lange noch etwas von tropfbarem Waſſer übrig war, die größte Dichtigkeit, welche er bei der eben ſtatt findenden Temperatur, vorausgeſetzt, daß dieſe dauernd genug iſt, erreichen konnte. Aber wenn nun gar kein Waſſer mehr übrig iſt und die Wärme noch immer höher ſteigt, ſo würde der Dampf mehr Waſſer aufnehmen können, und ſeine Dichtigkeit iſt alſo nun nicht mehr ſo groß, als ſie der Wärme gemäß ſeyn könnte. Es läßt ſich aus den angeſtellten Verſuchen ſchließen, daß die Elaſticität ſich dann zu der bei der größten Dichtigkeit eintretenden verhält, wie dieſe Dichtigkeit ſelbſt. Hätte man alſo beobachtet, daß bei 50° Cent. der letzte Tropfen Waſſer verſchwand, und ließe nun die Erhitzung bis 100° Cent. ſteigen, ſo würde man, wenn der Raum, welchen der Dampf einnimmt, noch immer gleich wäre, ſagen: der Dampf von 100° ſollte $7\frac{1}{5}$ mal ſo dicht ſeyn, als Dampf von 50°, und dann würde ſeine

[1] Faraday hat gezeigt, daß es für jede Flüſſigkeit eine gewiſſe Temperatur giebt, bei welcher ſie keine Dämpfe mehr liefert, z. B. Queckſilber liefert keine bei $6\frac{1}{4}$° C. (5° R.).

Spannkraft 28 Zoll betragen; da er aber nur ſo dicht iſt, als der Dampf von 50° es ſchon war, ſo beträgt ſeine Elaſticität kaum 4 Zoll (eigentlich 28 divid. mit 7⅕, alſo 3,89 Zoll), ſo daß ſie bei der Erhitzung nur um ½ Zoll Queckſilberhöhe zugenommen hat, ſtatt daß ſie bei ſo viel höherem Wärmegrade um 24⅔ Zoll zugenommen hätte, wenn Waſſer genug vorräthig geweſen wäre, um dem Dampfe die dieſer höhern Temperatur entſprechende Dichtigkeit zu geben.

Dieſe Betrachtungen bezogen ſich auf Dämpfe, die ungemiſcht mit Luft einen Raum, als eigenthümliche elaſtiſche Flüſſigkeit, ganz allein ausfüllten; aber da die in der atmoſphäriſchen Luft befindlichen Dämpfe zu wichtigen meteorologiſchen Betrachtungen Anlaß geben, ſo verdient auch die Frage, wie ſich die mit Luft gemiſchten Dämpfe verhalten, eine nähere Unterſuchung. Hier iſt es nun höchſt merkwürdig, daß die Menge der Dämpfe gleich groß bei gleicher Temperatur iſt, es mag in dem Raume, der ſie aufnimmt, atmoſphäriſche Luft enthalten ſeyn oder nicht. Man ſollte allerdings glauben, erſtlich daß ein ſchon mit Luft gefüllter Raum nicht im Stande ſey, nun auch noch ebenſo viel Dämpfe, als die Temperatur es im leeren Raume geſtatten würde, aufzunehmen, und zweitens, daß ein in der Luft enthaltener Dampf doch den Druck der umgebenden Luft auszuhalten habe und dieſem mit der geringeren, ihm bei niedriger Temperatur eigenen, Elaſticität nicht widerſtehen könne; beide Vermuthungen ſind jedoch irrig. Wir ſind daher genöthigt anzunehmen, daß die Dämpfe ſich ſo mit der Luft vereinigen, daß ſie, gleichſam zwiſchen den Lufttheilchen ihren Platz einnehmend, dem Drucke der Luft nicht ſo ausgeſetzt ſind, wie es bei dem gegenſeitigen Drucke größerer Maſſen der Fall wäre. Indem ſo die Luft und der Dampf, als ob ſie ganz unabhängig von einander wären, den Raum erfüllen und ihren Druck ausüben, erleidet eine dem gemeinſchaftlichen Drucke beider ausgeſetzte Fläche eine Preſſung, die der Summe derjenigen Preſſungen gleich iſt, die von der Luft und vom Dampfe allein ausgeübt werden würden. Gay-Luſſac hat, um dieß genau zu zeigen, ein Inſtrument angewandt, das ich ſchon vorhin zu einem oberflächlichen Verſuche angewandt habe und nun vollſtändiger erklären muß (XI. Fig. 21). Die weitere Röhre AF iſt genau getheilt, damit man den Raum, welchen die Luft vor der Miſchung mit Dampf und nachher einnimmt, genau vergleichen könne. Sie ſteht in freier Verbindung mit der engen Röhre TT′, kann von oben, indem man die oberhalb A liegenden Stücke abſchraubt, mit Queckſilber gefüllt werden, und hat unten einen Hahn W, um Queckſilber ausfließen zu laſſen. Die der Berührung mit Queckſilber ausgeſetzten Theile, die nicht von Glas ſeyn können, müſſen von polirtem Eiſen ſeyn, um nicht vom Queckſilber angegriffen zu werden. Der bei A aufzuſchraubende Theil beſteht aus einem größern Recipienten, der mit vollkommen trockener Luft (atmoſphäriſcher oder einer künſtlichen Luftart) gefüllt wird, aus einem Hahne Y, der den Zutritt der Luft bei der einen Stellung geſtattet, bei der andern Stellung hindert, und aus einem zweiten Hahne R, der eben dieſe Beſtimmung hat. Man trocknet

nun alle Theile des Inſtruments vollkommen, füllt die Röhre FA und alſo zugleich auch TT′ mit ganz trockenem und keine Luft enthaltendem Queckſilber und ſchraubt den obern Theil, in deſſen Ballon ſich völlig trockene Luft befindet, auf. Nun werden die Hähne Y, R geöffnet und zugleich dem Queckſilber bei W ein Ausfluß geſtattet, damit die weite Röhre ſich nach und nach mit trockener Luft fülle. Da man das Ausfließen des Queckſilbers unterbrechen kann, wenn man will, ſo nimmt man den Augenblick wahr, wo ein angemeſſener Theil AH mit Luft gefüllt iſt; dann ſperrt man den Hahn W und hierauf auch den Hahn R. Da die aus dem Ballon austretende Luft ſich ausdehnte, ſo iſt in AH verdünnte Luft, und die Oberfläche H iſt daher höher als h; man bringt aber die Luft AH zu eben dem Grade von Elaſticität, wie die äußere Luft, indem man bei h Queckſilber zugießt und damit inne hält, ſobald die hiedurch in einen engern Raum gedrängte Luft das Queckſilber in H genau ſo hoch als in h hält. Jetzt iſt alſo AH mit ganz trockener Luft gefüllt, deren Elaſticität durch die gerade ſtatt findende Barometerhöhe beſtimmt wird, indem bei horizontaler Oberfläche Hh der Druck der innern Luft genau dem Drucke der äußeren das Gleichgewicht hält. Um nun Dämpfe in den Raum AH zu bringen, ſchraubt man den Ballon oberhalb R ab und ſchraubt dagegen einen andern Hahn an der Stelle von Y an. Dieſer Hahn Y iſt nicht durchbohrt, ſondern hat, wie ſchon früher erwähnt, eine kleine Vertiefung, die ſich, wenn man das kleine Gefäß oberhalb mit Waſſer füllt und dieſe Vertiefung auf die obere Seite des Hahnes bringt, auch mit Waſſer füllt und, bei einer halben Umdrehung des Hahnes in ſeiner genau ſchließenden Faſſung, dieſen Tropfen nach unten hin führt, wo er, wenn der Hahn R geöffnet iſt, verdampft und den Raum AH mit Dämpfen füllt. Man wiederholt das Aufnehmen eines Tropfens und das Hinabführen zum Verdampfen ſo lange, bis keine neue Dampferzeugung, die ſich durch ein Hinabdrängen der Queckſilberfläche H kenntlich macht, mehr eintritt; alsdann iſt man ſicher, daß die Sättigung eingetreten iſt, das heißt, daß ein Dampf von der größten Dichtigkeit, die bei dieſer Temperatur erreicht werden kann, in AH vorhanden iſt. Aber da durch den hinzu gekommenen Dampf die Luft das Queckſilber bei H herab, bei h hinauf gedrängt hat, ſo üben die vermiſchten elaſtiſchen Flüſſigkeiten einen etwas größern Druck als den der Atmoſphäre aus; es iſt daher vortheilhaft, mit großer Vorſicht ein wenig Queckſilber bei W ausfließen zu laſſen, damit die ſich ausdehnenden elaſtiſchen Flüſſigkeiten in AH zu dem genauen Drucke der Atmoſphäre zurückgeführt werden, man muß aber dabei wohl Achtung geben, den Hahn W in dem Augenblicke zu ſchließen, wo beide Oberflächen H, h genau gleich hoch ſtehen; dann übt wieder die feuchte Luft eben den Druck aus, den vorhin die trockene ausübte, der nämlich dem Barometerſtande entſpricht.

Um ein der Natur gemäßes Zahlenbeiſpiel anzunehmen, will ich vorausſetzen, man ſtelle den Verſuch in einem bis auf 23° R. (28¾° C.) erwärmten Zimmer an, und die trockene Luft habe gerade 27 Theile eingenommen, als

ihr Druck dem Drucke der äußern Luft gleich war, dieſer Druck aber entſpreche genau der Barometerhöhe von 28 Zoll; dann wird man nach Vollendung des Verſuches die feuchte Luft 28 Theile einnehmen ſehen. Es iſt nämlich die Elaſticität eines Waſſerdampfs von größter Dichtigkeit bei 23° R. gerade 1 Zoll, die Elaſticität einer von 27 Theilen auf 28 Theile ausgedehnten Luft aber = 27 Zoll, wenn ſie bei ihrer erſten Dichtigkeit = 28 Zoll war; die Elaſticität der Dämpfe erſetzt alſo genau die Verminderung des Druckes um 1 Zoll, die wegen der Ausdehnung der Luft hätte eintreten ſollen.

Nach dieſer vielleicht etwas zu ſtrengen Darſtellung des Beweiſes, daß die Elaſticität des Dampfes ſich ganz genau als die Elaſticität der Luft verſtärkend zeigt und daß die Dämpfe ihre Wirkung in der Luft genau ſo wie im luftleeren Raume ausüben, wenn ſie gleich in der Luft ſich etwas langſam, im leeren Raume ſehr ſchnell entwickeln, will ich nur noch eine einzige Bemerkung über die Elaſticität der Dämpfe beifügen. Ich muß Sie, um dieſe einzuleiten, an die früher bewieſene Behauptung erinnern, daß die Dämpfe einer nicht ſo leicht kochenden Flüſſigkeit bei gleicher Wärme weniger Elaſticität beſitzen, als die Dämpfe einer bei geringerer Wärme kochenden Flüſſigkeit; da nun Salzwaſſer erſt bei etwas höherer Temperatur zum Kochen kömmt als reines Waſſer,[1] ſo müſſen die Dämpfe des ſalzigen Waſſers etwas weniger Elaſticität beſitzen, als die des ſüßen Waſſers. Dieſer Schluß iſt keinem Zweifel unterworfen; aber bekanntlich ſteigt in den Dämpfen des ſalzigen Waſſers kein Salz mit auf, ſondern die Dämpfe geben ſüßes Waſſer; warum ſind denn alſo dieſe Dämpfe gleichwohl an Elaſticität von denen verſchieden, die ohne Zuſatz von Salz zum Waſſer entſtanden ſind? Der Grund muß wohl der ſeyn, daß das im Waſſer enthaltene Salz gleichſam mit dem Wärmeſtoffe um den Beſitz des Waſſers ſtreitet; der Wärmeſtoff kann ſich nicht mit der ganzen Quantität Waſſer verbinden, die ihm bei reinem Waſſer zukäme, ſondern das Salz fordert einen Theil hievon, und daher iſt der Salzwaſſerdampf, bei gleicher Temperatur und ſo lange er ſich über dem noch übrigen ſalzigen Waſſer befindet, ein wenig dünner, obgleich er kein merkbares Theilchen Salz mit fortführt.

Dichtigkeit der Dämpfe.

Daß auch die Beſtimmung, wie viel Waſſer denn in Dämpfen von beſtimmter Elaſticität enthalten iſt, von Wichtigkeit ſey, brauche ich kaum zu bemerken, und ſpätere Betrachtungen werden es noch mehr zeigen. Das einfachſte Mittel, um zuerſt die Dichtigkeit der Dämpfe des kochendes Waſſers

[1] Nach Griffith's Verſuchen erhöhen 30 Procent Kochſalz den Siedepunkt des Waſſers auf 106,8, 50 Procent Salmiak auf 113,3, 74 Procent Salpeter auf 114½, 60 Procent ſalpeterſaures Natron auf 118, 60 Procent eſſigſaures Natron ſogar auf 124½° Cent. — Die von Rudberg aufgefundene Thatſache, daß der Dampf, welcher aus irgend einer ſiedenden Salzauflöſung aufſteigt, immer dieſelbe Temperatur hat, als der unter gleichem Luftdrucke aus reinem ſiedenden Waſſer aufſteigende, um wie viele Grade die Temperatur der Löſung auch höher ſeyn möge, hat nichts Ueberraſchendes. (M.)

zu finden, iſt das von G. G. Schmidt angewandte, daß man in einem Glasgefäße, welches nur eine kleine Oeffnung hat, und zwar eine röhrenförmig ausgezogene, um ſie ſchnell an der Lampe zuſchmelzen zu können, Waſſer zum Kochen bringt und in dem Augenblicke, wo der letzte Tropfen verkocht, die Oeffnung zuſchmelzt. Wenn man dann das Gefäß abwägt und das gefundene Gewicht mit dem vergleicht, welches bei vollkommener Anfüllung mit Waſſer von gegebener Temperatur ſtatt findet, ſo kennt man, weil man ja auch das Gewicht des Gefäßes beſtimmen kann, das Verhältniß des Gewichtes der Dämpfe zu dem Gewichte des Waſſers und folglich auch zu dem Gewichte trockener Luft. Die Dichtigkeit der Waſſerdämpfe bei niedrigern Temperaturen hat man durch ein anderes Verfahren beſtimmt. Der ungelöſchte Kalk hat die Eigenſchaft, aus feuchter Luft alle Dämpfe an ſich zu ziehen; wenn man alſo ein Gefäß mit einem Raume, worin Waſſer bei beſtimmter Temperatur verdampft, ſo in Verbindung ſetzt, daß jenes ſich mit Dämpfen füllt, dann aber den Zutritt neuer Dämpfe hemmt und eine abgewogene Quantität ungelöſchten Kalk hineinbringt, ſo zeigt die Gewichtszunahme des Kalks, nachdem er die Dämpfe aufgenommen hat, wie viel Waſſer als Dampf in jenem Raume enthalten war.

Genauer als dieſe Verſuche ſind indeß die von Gay-Luſſac ſowohl als von Muncke angeſtellten. In ein mit völlig ausgetrockneter Luft gefülltes Glasgefäß waren kleine hohle Glaskugeln, mit einer abgewogenen Menge Waſſer gefüllt und dann zugeſchmolzen, ſo gelegt, daß man ſie in dem geſchloſſenen Raume zerſchlagen konnte. Indem man nun Achtung gab, bei welchem Wärmegrade dieſes, nun mit der trockenen Luft in Berührung gekommene, Waſſer gerade eben in Dampf verwandelt worden war, kannte man die Dichtigkeit des dieſer Temperatur entſprechenden Dampfes, nämlich des Dampfes, welcher die größte Dichtigkeit hat, die bei dieſer Wärme ſtatt finden kann. War zum Beiſpiel das Gefäß ſo groß, daß es 11760 Gran Waſſer (von 4^0 Temperatur, wo das Waſſer die größte Dichtigkeit hat) faßte, und fand man, daß 1 Gran Waſſer genau bei 50^0 Cent. verdampft war, ſo ſah man, daß Dampf von der größten Dichtigkeit bei 50^0 Cent. genau $^1/_{11760}$ = 0,000085 der Dichtigkeit jenes Waſſers hat. Ein Dampf von dieſer Wärme beſitzt eine Elaſticität, die 3,37 Zoll Queckſilber das Gleichgewicht hält; Luft von dieſer Wärme hat die Dichtigkeit = $^1/_{917}$ bei einer Elaſticität = 28 Zoll Queckſilber, alſo eine Dichtigkeit = $^1/_{7620}$ = 0,000131 bei einer Elaſticität = 3,37 Zoll Queckſilber; die Dichtigkeit = 0,000085 jenes Dampfes iſt alſo wenig über $^5/_8$ (beinahe $^2/_3$) der Dichtigkeit einer ebenſo warmen und ebenſo viel Druck ausübenden Luft. Bei 100^0 Cent. Wärme und einem Barometerſtand von 28 Zoll iſt der Waſſerdampf 1700 mal leichter, die Luft aber 1050 mal leichter als Waſſer.

Alle dieſe Verſuche ſtimmen, wenn man auf kleine, hier wohl unvermeidliche Unterſchiede nicht ſieht, dahin überein, daß, wenn man die Rechnung für jede Temperatur ebenſo führt, immer die Verhältnißzahl $^5/_8$ für die Dichtigkeit

des Waſſerdampfes in Vergleich mit ebenſo warmer und eine gleiche Elaſticität beſitzender Luft hervorgeht. [1]

Einen Zweifel, der in Beziehung auf die Dichtigkeit der Dämpfe Ihnen aufſtoßen könnte, muß ich noch beleuchten. Es könnte ſcheinen, als ob bei einer Compreſſion des Waſſerdampfes durch einen Kolben ſeine Dichtigkeit ebenſo wie die Dichtigkeit der zuſammengepreßten Luft zunehmen müßte; aber das iſt nicht der Fall, ſondern wenn ein Cylinder, in welchem ſich noch Waſſer befindet, mit Dampf von der größten Dichtigkeit gefüllt iſt und nun ein Kolben den Dampf auf einen engern Raum beſchränkt, ſo ſchlägt ſich, bei gleich bleibender Wärme, tropfbares Waſſer nieder und der übrige Raum bleibt nur noch mit Dampf von der vorigen Dichtigkeit gefüllt. Wenn der Dampf ſich auf dieſe Weiſe niederſchlägt, ſo füllt ſich der ganze Raum mit ſichtbarem Dunſte, welcher an den Wänden des Gefäßes, indem die in ihm latent geweſene Wärme entweicht, ſich in feinen Waſſertröpfchen niederſchlägt. Bei der Compreſſion eines Dampfes, der wegen Mangels an Waſſer nicht ſeine größte, der ſtatt findenden Wärme entſprechende Dichtigkeit hat erreichen können, verhält es ſich anders; da nämlich tritt der Dunſt- und Waſſerniederſchlag erſt dann ein, wenn bei der Compreſſion jener Punkt der größten Dichtigkeit überſchritten iſt; ehe dieſer erreicht iſt, behält der in Vergleichung gegen ſeinen frühern Zuſtand etwas verdichtete Dampf noch immer ſeine Durchſichtigkeit und erlangt nach dem Maaße der Verdichtung eine größere Elaſticität.

So wie in dem eben erwähnten Falle der Dampf von größter Dichtigkeit bei der Compreſſion ſogleich in Dunſt und Waſſer verwandelt wird, ſo geſchieht es auch bei der geringſten Abkühlung. Wir ſehen dieß bei dem frei hervorgehenden Dampfe an der Oberfläche heißen Waſſers, wo unmittelbar auf der Oberfläche der ſehr heiße Dampf vollkommen durchſichtig iſt, in geringer Entfernung aber, wo die Dichtigkeit des Dampfes noch wenig verändert iſt, ein Dunſt ſichtbar wird, weil bei der eintretenden Abkühlung ein Dampf von dieſer Dichtigkeit nicht mehr als durchſichtiger Dampf beſtehen kann; in weiterer Entfernung wird dieſer Dunſt wieder unſichtbar, indem der in einen größern Raum ausgebreitete Dampf denjenigen Grad von Verdünnung erreicht, der einem bei der Wärme der Atmoſphäre gebildeten Dampfe entſpricht. — Das niedergeſchlagene Waſſer in den Dunſttheilchen geht durch neue Verdampfung in den elaſtiſchen Dampfzuſtand über.

Daß man durch ähnliche Verſuche die Dichtigkeit des Alkoholdampfes, des Dampfes von Schwefeläther u. ſ. w. gefunden hat, erwähne ich nur kurz, und füge nur noch eine Bemerkung über die Dämpfe des Queckſilbers hinzu. Da ohne Zweifel in dem leeren Raume des Barometers (im Torricelli'ſchen Vacuum) ſich Queckſilberdämpfe entwickeln, die ſich zuweilen ſogar dadurch kenntlich machen, daß feine Queckſilbertröpfchen ſich oben an der Röhre anlegen,

[1] Statt des Verhältniſſes 10:16 fand Muncke 10:15,2242; Brunner 10:16,132; Schmeddink 10:15,873. (M.)

ſo ſcheint die Beſorgniß zu entſtehen, daß dieſe durch ihre Elaſticität den Stand des Barometers erniedrigen möchten. Dieſe Beſorgniß iſt jedoch ungegründet; denn da man findet, daß Alkoholdampf bei einer Wärme von 40 Graden unter dem Kochpunkte des Alkohols und Aetherdampf bei einer Wärme von 40 Gr. unter dem Kochpunkte des Aethers ziemlich eben die Elaſticität haben, wie Waſſerdampf bei einer Wärme von 40 Gr. unter dem Kochpunkte des Waſſers, ſo ſchließt man, wenn gleich dieſe Regel nur obenhin richtig iſt, daß Queckſilber von 56 Gr. Cent. Dämpfe von eben der Elaſticität wie Waſſer von — 200 Gr. Cent. hervorbringen muß, oder daß bei 300 Gr. Cent. unter dem Kochpunkte beider Flüſſigkeiten die Elaſticitäten ihrer Dämpfe gleich ſind. Aber die Elaſticität eines ſo ungemein kalten Waſſerdampfes würde kein Zehntauſendtel Linie Queckſilber mehr tragen, alſo wird auch jener Queckſilberdampf unſere Beobachtungen nie unrichtig machen. [1]

Latente Wärme der Dämpfe.

Daß der Dampf durch Wärmeaufwand entſteht, habe ich ſchon zu Anfang bemerkt, und es iſt nicht ſchwer, dieſen Wärmeaufwand genauer zu beſtimmen. Die über dem kochenden Waſſer ſich erhebenden Dämpfe zeigen ſich, wenn man ein Thermometer in ihnen aufſtellt, ebenſo warm als das kochende Waſſer ſelbſt, aber ihre Hervorbringung fordert eine große Menge Wärme, und eben dieſe Wärme findet man auch wieder, wenn man Dämpfe zur Erwärmung kalter Körper anwendet. Miſcht man 1 Pfund Waſſer von 100° Cent. mit 1 Pfund Waſſer von 10° Cent., ſo iſt die Temperatur der Miſchung 55°; aber wenn man Waſſerdämpfe von 100° in 1 Pfund Waſſer von 10° übergehen läßt, ſo bedarf es lange keines Pfundes Dampf, um die Miſchung zu 55° Wärme zu bringen. Sie überſehen leicht, daß ein Verſuch, ſo angeſtellt, daß man die kochend heißen Dämpfe in kaltes Waſſer hinein leitet und dann die aufgewandte Dampfmenge durch Abwägen vor und nach dem Verſuche und zugleich die Erwärmung beſtimmt, die latente Wärme der Dämpfe geben muß. Hätte man z. B. gefunden, daß 61 Gewichttheile Waſſer von 20° Cent. ein Zuſtrömen von einem Gewichttheile Waſſerdampf von 100° C. forderten, um jenes Waſſer auf 30° C. zu bringen, ſo würde man ſchließen, da 61 Theile um 10 Grade erhitzt ſind, ſo würde 1 Theil um 610 Grade erhitzt ſeyn; der eine Gewichttheil Dampf gab alſo 610 Grade Wärme her, und da er dabei nur um 70 Grad, nämlich von 100 bis 30, abgekühlt wurde, ſo mußten die übrigen 540° Cent. (432° R.) dadurch, daß der Dampf in Waſſer verwandelt wurde, oder aus der latenten Wärme des Dampfes hervorgehen. So wie alſo 1 Pfund Eis zum Schmelzen ebenſo viel Wärme braucht, als 1 Pfund Waſſer, das um 75° Cent. erhitzt werden ſoll, ebenſo fordert 1 Pfund Waſſer, um in Dampf verwandelt zu werden, ebenſo viel Wärme, als nöthig iſt, um

[1] Die Dichtigkeit des Queckſilberdampfes beim Siedepunkte beträgt (wenn die Dichtigkeit der Luft bei 0° C. als Einheit geſetzt wird) faſt genau 7, ferner die der Dämpfe von Schwefel 6½—7, von Phosphor 4½, von Schwefelſäure 3, von Schwefelwaſſerſtoff über 1,9, von Ammoniak 0,6 u. ſ. w.

10 Pf. Waſſer um 54° Cent. oder 1 Pf. Waſſer um 540° Cent. (432° R.) zu erhitzen. Die Anwendung des Eisapparats giebt eben dieſes Reſultat.

Aus dem Latentwerden der Wärme beim Sieden erklären ſich viele Erſcheinungen, z. B. warum ein zinnernes Gefäß beim heftigſten Feuer nicht ſchmilzt, ſo lange Waſſer darin iſt u. ſ. w. Ob die latente Wärme der Dämpfe immer gleich bleibe, auch bei höhern Temperaturen; ob die Wirkung der ſtark erhitzten und daher ſehr elaſtiſchen Dämpfe mehr betrage als dem einfachen Verhältniſſe des aufgewendeten Feuermaterials angemeſſen iſt? — dieſe und noch mehrere ähnliche Fragen darf ich hier wohl übergehen, doch bemerke ich, daß die bisherigen Verſuche für eine genau dem Aufwande von Feuermaterial angemeſſene Wirkung ſprechen. [1]

Einzelne ſchwierige Erſcheinungen bei der Erhitzung flüſſiger Körper.

Die bisher vorgetragenen Lehren von der Entſtehung und Wirkung der Dämpfe ſtanden alle in ſo ſchönem Zuſammenhange, daß Sie die Beantwortung einer Frage, die ich Ihnen ſogleich vorlegen will, vermuthlich ohne Bedenken ausſprechen zu können glauben, und doch einen Irrthum ausſprechen werden, wenn Sie den bisherigen Lehrſätzen gemäß Ihre Antwort einrichten. Die Frage iſt: wenn man ein metallenes Gefäß bis zur vollen Glühhitze bringt und nun einen Waſſertropfen auf dieſe glühende Oberfläche fallen läßt, wird dieſer ſchnell verdampfen? — Niemand wird Bedenken tragen, zu antworten, daß, da ſchon eine mäßig erhitzte Ofenplatte Wärme genug beſitzt, um Waſſertropfen ſogleich unter ziſchendem Geräuſche zum ſchnellen Verkochen und zum Verdampfen zu bringen, die Glühhitze dieß noch weit ſchneller bewirken müſſe; und doch iſt dieß gar nicht der Fall. Der Verſuch, der dieß beweiſt, iſt, wenn man keine ſehr große Waſſerkugel verlangt, gar nicht ſchwer anzuſtellen, ja es bedarf dazu nicht einmal der Glühhitze. Zuerſt bemerkt wurde dieſe Erſcheinung von *Leidenfroſt* in der Mitte des vorigen Jahrhunderts und nachher iſt ſie in Beziehung auf glühende Metalle öfter wiederholt dargeſtellt worden; ſpäter aber hat man bei polirten Metallen ſchon in viel geringerer Hitze eben das gefunden. Nimmt man nämlich ein ſilbernes Gefäß mit polirter Oberfläche und erhitzt dieſes bedeutend über die Kochhitze, ſo wird ein hineinfallender einzelner Waſſertropfen nicht ziſchend verkochen, ſondern in Kugelform auf dem Boden herumlaufen und, wenn dieſer gegen die Mitte vertieft iſt, in der Mitte als Kugel liegen bleiben; läßt man langſam einen zweiten, dritten Tropfen zufließen, ſo vereinigen ſich dieſe mit dem erſten, und der größer werdende Tropfen, den man leicht bis auf 1/2 Zoll Durchmeſſer und darüber bringt, nimmt nun die abgeplattete Geſtalt eines Queckſilbertropfens an, der auf einer Fläche ruht, zu welcher das Queckſilber keine

[1] Nach den neueſten Unterſuchungen von *Pambour* ſcheint ſich der von mehreren Phyſikern aufgeſtellte Satz zu beſtätigen, daß für jeden gegebenen Dampf, ohne Rückſicht auf Druck und Temperatur, die Summe der freien und latenten Wärme immer gleich groß und zwar für Waſſerdampf in runder Zahl = 640° C. iſt. (M.)

Adhäſion hat. Der Weingeiſt läßt ſich ebenſo anwenden, und da er bei noch geringerer Hitze kocht, ſo gelingt mit ihm der Verſuch noch eher. Dieſer Tropfen, der gewöhnlich in eine ſchnelle rotirende Bewegung geräth, verkleinert ſich allmälig, aber ſehr langſam, und daß er Dämpfe entwickelt, ſieht man daraus, daß die Flamme zuweilen, wenn es ein Weingeiſttropfen iſt, dieſe Dämpfe ergreift und der Tropfen mitten in der Flamme liegt; aber auch dann verdampft er nicht merklich ſchneller, ſondern man kann die Flamme eine Weile dauern laſſen, und findet den Tropfen faſt ungeändert, wenn man ſie ausbläſt. So gelingt der Verſuch, einen Weingeiſttropfen, ohne daß er kocht, lange auf der heißen Oberfläche des Metalles liegen zu haben, ſehr leicht; aber wenn man zu viel Weingeiſt auf einmal zuſchüttet und dadurch die Oberfläche zu ſehr abkühlt, ſo geräth der Tropfen ins Kochen und verkocht ziſchend in wenig Augenblicken. Ebenſo verhält es ſich, wenn man Waſſer in ein glühendes eiſernes Gefäß tröpfelt, auch wenn hier die Oberfläche rauh iſt; der Tropfen nimmt die Kugelform an und verkleinert ſich hier zwar merklicher, indeß doch langſam genug; aber er verkocht im Augenblick, wenn man ſo viel Waſſer zugießt, daß die Hitze zu ſehr vermindert wird.

An dieſe Erſcheinung des Nichtkochens ſchließt ſich eine zweite. Wenn das Silbergefäß, über der Flamme erhitzt, einen großen Waſſer- oder Spiritustropfen in Kugelform enthält, ſo entferne man es vom Feuer und laſſe es abkühlen, dann bleibt der Tropfen ziemlich lange ungeändert, nur daß er in immer ſchnellere rotirende Bewegung geräth; aber plötzlich, ſo wie wenn ein Gefäß zerſpringt, zerreißt die Kugelform, der Tropfen kocht ziſchend auf und verkocht entweder ganz, wenn er nicht groß iſt, oder kocht ſo lange, bis er dem berührenden Metalle zu viele Wärme geraubt hat, wo er dann in ganz gewöhnlicher Weiſe, das Gefäß mit horizontaler Oberfläche genau berührend und einem ziemlich ſchnellen Verdampfen ausgeſetzt, bald aufgezehrt wird.

Dieſe Erſcheinungen ſind ohne Zweifel überraſchend. Man ſieht deutlich, daß die zu große Hitze des Metalles hier das gewöhnliche Verdampfen hindert und daß dieſes bei einem geringern Wärmegrade wieder eintritt; aber aus welchen Gründen? Daß die Bedingung des Nichtkochens die Kugelform des Tropfens iſt, ſcheint aus allen Umſtänden hervorzugehen, und dieſe Kugelform tritt, wie Sie wiſſen, wegen gänzlich aufgehobener Adhäſion des Flüſſigen gegen die feſte Oberfläche ein. Die Wärme, von der wir auch aus andern Erſcheinungen wiſſen, daß ſie ſich als abſtoßend zeigt, ſcheint hier, vermöge dieſes Abſtoßens, die ſonſt ſtatt findende Adhäſion aufzuheben; bei polirter Oberfläche reicht ſchon ein mäßiger Grad von Hitze (bei mehreren Metallen wenigſtens) hin, um die Adhäſion zu überwinden, bei unpolirter Oberfläche des Metalles iſt die Glühhitze nöthig, und bei erdigen Körpern ſcheint keine Hitze zuzureichen, um die Erſcheinung hervorzubringen. Daß dieſer Mangel an Adhäſion die Hauptbedingung des Nichtkochens iſt, ſcheint ein von Rumford angegebener Verſuch zu zeigen, wo ſchon dem kalten Waſſer die Adhäſion zu der Fläche, worauf es ruht, benommen iſt. Läßt man den polirten Boden

eines ſilbernen Gefäßes über einer Lichtflamme ſich mit Ruß bedecken, ſo hat dieſe Fläche eine ſo geringe Adhäſionskraft gegen das Waſſer, daß der Waſſertropfen wie eine Perle darauf liegt; auch dieſen Waſſertropfen bringt man nicht zum Kochen, aber ſobald man ihn einen nicht mit Ruß bedeckten Theil der Oberfläche berühren läßt, ſo verkocht er ziſchend (vorausgeſetzt, daß die Hitze nicht den Grad erreicht, wobei auch das Silber ſelbſt keine Adhäſion mehr zeigt). Auf dieſer Adhäſion beruht gewiß auch die auf polirtem Metalle faſt immer eintretende ſchnelle Bewegung des Tropfens. Die Oberfläche iſt nämlich nicht leicht ſo gleich, vielleicht auch nicht ſo vollkommen gleichmäßig erwärmt, daß die Adhäſion überall gleich aufgehoben wäre; jede Ungleichheit der von rechts und links anziehenden oder abſtoßenden Kräfte bringt aber eine Bewegung hervor, die ſehr leicht dauernd werden kann, wie der Verſuch mit dem Uhrglaſe auf dem geneigten Spiegel zeigt (S. 291). Wenn der Zeitpunkt des Zerplatzens herannaht, ſo wird die Bewegung ſchneller, weil dann die Ungleichheiten der Adhäſion merklichern Einfluß haben. Indeß können dieſe Bewegungen auch von der an der Oberfläche des Metalls doch immer in ſchwachem Grade ſtatt findenden Dampfentwickelung herrühren, und da dieſe bei abnehmender Hitze des Metalles ſtärker wird, ſo nehmen auch die Bewegungen zu; das Zerplatzen der Kugel ſcheint dadurch einzutreten, daß in dem Momente, wo der untere Theil der Kugel ſich eng an die Oberfläche anſchließt und die Adhäſion das Uebergewicht über die Abſtoßung bekömmt, ſich im Berührungspunkte Dämpfe von großer Elaſticität, der Hitze des Metalles entſprechend, entwickeln, die den ganzen Tropfen aus einander treiben. Daß aber auch vorher ſchon Dämpfe entſtehen, obgleich nicht mit der Gewalt des Kochens, erhellt theils aus der allmäligen, wenn gleich langſamen Verminderung des Tropfens, theils aus der ſchon erwähnten Entzündung dieſer Dämpfe, die eine große Flamme bilden, wenn es Weingeiſt oder Aether iſt.

Warum nun aber der der Adhäſion beraubte Tropfen nicht kocht, darüber hat man mehrere Meinungen aufgeſtellt. Daß er nicht die Kochwärme erlangt, ſcheint gewiß; aber der Grund dieſer geringen Erwärmung erhellt nicht ganz. Döbereiner glaubte, der Tropfen berühre die Oberfläche gar nicht; aber theils hat Muncke ſich überzeugt, daß kein ſichtbarer Zwiſchenraum vorhanden iſt, theils iſt es auch bei einem Tropfen, der einen großen Durchmeſſer erlangt, ganz gewiß, daß er ſo nahe, wie zwei glatte Körper ſich berühren können, in Berührung kommen muß; indeß iſt es auch wahr, daß das Tanzen ſehr kleiner Tropfen eine merkliche Abſtoßung verräth. Aber wenn auch keine merkliche Entfernung ſtatt findet, ſo iſt doch ganz gewiß die Berührung auch nur ſo unvollkommen, wie bei zwei harten polirten Körpern, und inſofern die Mittheilung der Wärme ſehr ſchwach. Nimmt man dazu, daß von dieſer wenigen mitgetheilten Wärme doch auch noch ein Theil durch die langſame Verdampfung verloren geht, ſo möchte die hinübergeleitete Wärme wohl allerdings gering ſeyn. Aber der Tropfen empfängt doch auch ſtrahlende Wärme, und dieſe kann beſonders da, wo der Tropfen faſt von allen Seiten mit glühendem Eiſen umgeben iſt, nicht unbedeutend einwirken. Man hat geſagt, der ganz durchſichtige Waſſertropfen laſſe die Wärmeſtrahlen durch,

ohne erhitzt zu werden; aber auch ein auf glühendem Eiſen durch Aſche oder andre Körper verunreinigter Tropfen zeigt eben jene Erſcheinungen, und wenn man in das polirte Silbergefäß ein wenig geſchabte Kreide bringt, ſo wird der Tropfen milchig, ohne darum ſeine Eigenſchaften zu verlieren. Man ſieht daher nicht ganz ein, warum der von ſo heißen Körpern rings umgebene Körper nicht heiß wird. Eine Hypotheſe, daß die Wärme verwandt werde, um das Waſſer zu zerſetzen, hatte einiges Gewicht, ſo lange man die Erſcheinung nur über glühenden Oberflächen, namentlich auf glühendem Eiſen, kannte, und wenn wirklich ſich das Waſſer in die zwei bekannten Luftarten verwandelte, ſo würde dazu wohl allerdings ein großer Wärmeaufwand nöthig ſeyn; aber auf einer Silberfläche, vollends auf einer lange nicht bis zum Glühen erhitzten, iſt an Waſſerzerſetzung gar nicht zu denken, und obgleich Fiſcher beim Weingeiſte aus dem Geruche nach Lampenſäure auf Zerſetzung ſchließt, ſo darf man doch ſchwerlich beim Waſſer eine Zerſetzung annehmen. Der Grund der geringen Wärme ſcheint alſo noch nicht recht erklärt zu ſeyn. Das Unerklärliche, das der Verſuch darbietet, ſteigt deſto mehr, je größer der Tropfen wird, und da man ihm nicht bloß einen Zoll Durchmeſſer geben, ſondern (nach Lechevalier's Angabe) einen glühenden Platintiegel nach und nach faſt ganz füllen kann, wo die Zahl der in naher Berührung ſtehenden Punkte immer größer wird, ſo überſieht man nicht, warum da immer noch die Erwärmung ſo gering bleibt. Noch weniger erhellt dieß bei folgendem von Lechevalier erzählten Verſuche. Dieſer nahm einen hinreichend ſtarken, 6 Zoll langen und 1 Zoll weiten Metallcylinder und füllte ihn mit Waſſer; nachdem die Oeffnung feſt verſpundet war, wurde der Cylinder glühend gemacht, ſodann die Verſpundung weggenommen, und dennoch drangen, der Glühhitze ungeachtet, keine Dämpfe hervor, ſondern dieſe entwickelten ſich erſt dann mit Heftigkeit, wenn die Hitze bis unter die Hitze des Rothglühens herabgeſunken war. Hier ſcheint es doch unmöglich, daß das Waſſer nicht einen hohen Hitzegrad angenommen haben ſollte, und es ſcheint hier alſo ganz an einem Erklärungsgrunde zu fehlen. Lechevalier behauptet übrigens, daß Waſſer, in einen weißglühenden Cylinder getröpfelt, nur 95° Cent. Wärme habe, und daß kochendes Waſſer hineingetröpfelt ſich abgekühlt, das iſt, nicht mehr die Kochhitze erreicht habe.

Perkins führt zu Unterſtützung der Behauptung, daß die erhitzten Körper ſtark abſtoßend auf Flüſſigkeiten wirken, noch folgende Erfahrung an. Der in hohem Hitzegrade erhaltene Dampf drang durch eine Röhre von $\frac{1}{8}$ Zoll Durchmeſſer nicht hervor, und ein Riß im Dampfkeſſel, der den wenig erhitzten Dampf ſtark durchließ, hielt bei ſtarker Erhitzung den Dampf zurück. Nach Perkins' Anſicht war es die vom Metalle abſtoßende Kraft der Hitze, die hier das Hervordringen des Dampfes hinderte. Muncke's Verſuche machen es indeß zweifelhaft, ob ſo große Oeffnungen ſelbſt im Glühen kein Waſſer durchlaſſen; aber ſie beſtätigen, daß kleine Oeffnungen allerdings dem Waſſer keinen Ausfluß geſtatten, wenn das Gefäß glüht.

Fünfundfünfzigſte Vorleſung.

Anwendung der Dämpfe zum Heizen, zum Kochen u. ſ. w.

So ſehr auch die Lehre von der Wärme überhaupt mit den Bedürfniſſen und Geſchäften des bürgerlichen Lebens in Verbindung ſteht, ſo iſt doch wohl kein Theil derſelben, der zahlreichere und auffallendere Anwendungen darböte, als die Lehre von den Dämpfen. Ich will mit den einfacheren Anwendungen anfangen und dann zu den Dampfmaſchinen, als der erfolgreichſten Anwendung, übergehen.

Daß man die Dämpfe zum Erwärmen, zum Trocknen, zum Heizen von Zimmern u. ſ. w. anwenden kann, iſt offenbar, und dieſe Anwendung wird vorzüglich da vortheilhaft, wo irgend eine Art von Fabrication das Hervorgehen von Dämpfen bewirkt und man daher keinen eignen Aufwand von Brennmaterial zur Erwärmung nöthig hat. Man leitet zu dieſem Zwecke die Dämpfe in Röhren, deren Oberfläche nicht polirt iſt, fort, weil die ſtrahlende Wärme dann beſſer in die zu heizenden Räume ausſtrömt; man kann bei dieſer Einrichtung die Röhren am Fußboden und durch die ganze Länge der Zimmer fortleiten, wodurch der Vortheil einer beſonders im unteren Theile der Luft ſtatt findenden und gleichförmigen Erwärmung erreicht wird. Da der Dampf, indem er ſich in den Röhren abkühlt, in Waſſer verwandelt wird, ſo müſſen die Röhren etwas geneigt liegen, um dem Waſſer einen Zurückfluß in den Keſſel zu geſtatten. Dieſe Heizung gewährt inſofern eine Sicherung gegen Feuersgefahr, als man bei einer durch viele Theile eines großen Gebäudes gehenden Heizung nicht mehr als ein Feuer, das man in einem ſehr wohl verwahrten Raume anbringen kann, nöthig hat, ſtatt daß ſonſt alle einzelnen Feuer gleiche Aufmerkſamkeit fordern. In manchen Fällen iſt auch das eine Annehmlichkeit, daß die Röhren nie ſo brennend heiß werden, als bei unmittelbarer Heizung durch Feuer. Dieſe Annehmlichkeit iſt beſonders da von Wichtigkeit, wo man in Fabriken Gegenſtände irgend einer Art durch das Anhäufen um dieſe Röhren oder durch das Aufhängen an denſelben trocknen will, indem da ein ſtärkerer Wärmegrad leicht Beſchädigung hervorbringt.

Durch die Zuleitung der Dämpfe in Gefäße, die nicht ſelbſt über dem Feuer ſtehen, kann man die in denſelben enthaltenen Gegenſtände erwärmen und hat dabei den Vortheil, nicht bloß ſich eines hölzernen Gefäßes, das man nicht dem Feuer unmittelbar ausſetzen dürfte, bedienen zu können, ſondern auch leichter denjenigen mäßigen Grad von Wärme zu erhalten, der zu irgend einem Zwecke erforderlich iſt. Wenn die Dämpfe in großer Menge zuſtrömen, ſo kann man mit Waſſerdämpfen Waſſer zum Kochen bringen und zwar durch eine beſtimmte Dampfmenge von 100° C. eine dem Gewichte noch fünfmal größere Waſſermenge von 0° C.

Man hat die Vortheile des Kochens im Dampfe oft gerühmt. Dieſes Kochen im Dampfe beſteht darin, daß ſich in dem Topfe, etwa in der halben

Höhe, ein durchlöcherter Boden befindet, auf welchen man die zu kochenden Speiſen legt, während Waſſer oder auch Fleiſch im Waſſer ſich im unteren Theile des Topfes befindet. So werden jene Speiſen nur von dem Dampfe durchdrungen, was in manchen Fällen vortheilhafter ſeyn ſoll. Ein ſolcher Topf muß ziemlich dicht verſchloſſen ſeyn, damit nicht durch das Entweichen zu vielen Dampfes ein öfteres Nachfüllen neuen Waſſers nöthig werde. Der Zweck der völlig geſchloſſenen Kochgefäße, der Rumford'ſchen Töpfe, iſt, wie Sie bereits geſehen haben, ein anderer, nämlich der, bei gehinderter Verdampfung die Wärme zu verſtärken, und dieſe Einrichtung der Kochgefäße iſt daher Holz erſparend, weil bei dem Kochen in offenen Gefäßen eine große Menge Hitze zum Entſtehen des verloren gehenden Dampfes verwandt wird, hier hingegen dieſe Wärme zugleich dazu wirkt, größere Hitze zu erzeugen und dadurch die gewöhnlichen Erfolge des Kochens ſchneller, zugleich aber noch größere Wirkungen, ein Zerkochen von Knochen u. ſ. w. hervorzubringen. Auch für das gewöhnliche Kochen knüpft ſich an die Bemerkung, daß eine ſtarke Dampferzeugung unnützen Wärmeaufwand fordert, eine Regel, nämlich die, daß man ein zwar ununterbrochenes, aber nie ſehr heftiges Kochen anwenden muß, indem bei dem letztern der Wärmegrad nicht merklich erhöht wird, während die vielen verloren gehenden Dämpfe Wärme unnütz fortführen. Geſalzenes Waſſer nimmt beim Kochen etwas mehr Wärme an, eine Schicht von Fett auf der Oberfläche hindert das Kochen noch etwas länger, oder bewirkt, daß eine größere Wärme eintritt, ehe das geſalzene und mit Fett bedeckte Waſſer zum Kochen kommt; ſchon durch dieſe Wirkung tragen jene beiden Umſtände bei, ein beſſeres Weichwerden der Speiſen zu bewirken.

Die Chemiker bedienen ſich ſeit langer Zeit des Erhitzens im Marienbade, damit der zu erhitzende Körper gewiß nicht einer größern Hitze, als der Kochwärme des Waſſers, ſondern vielmehr einer kleinern, in einem beſtimmten Abſtande davon befindlichen ausgeſetzt werde; — dieſes Marienbad iſt nämlich ein Gefäß mit kochendem Waſſer, in welchem dasjenige Gefäß aufgeſtellt iſt, worin ſich der zu erhitzende Körper befindet. Waſſer in einem Gefäße, das ſich in einem größern mit ſiedendem Waſſer befindet, kann auch bei dem ſtärkſten Feuer nicht zum Sieden gebracht werden.

Die Deſtillation gründet ſich auf die Eigenſchaft der Flüſſigkeiten, ſich bei beſtimmten Wärmegraden in Dampf zu verwandeln und bei geringerer Wärme wieder als tropfbare Flüſſigkeit niederzuſchlagen. Man bringt unter dem Gefäße, worin die der Deſtillation zu unterwerfende Flüſſigkeit ſich befindet, Feuer an, und leitet dann die Dämpfe in das mit kaltem Waſſer oder allenfalls mit Eis umgebene Kühlgefäß, worin die übergegangenen Dämpfe ſich als tropfbare Flüſſigkeit darſtellen. Der Zweck des Deſtillirens iſt gewöhnlich, eine leichter verdampfende Subſtanz von der ſchwerer verdampfenden zu trennen. Man deſtillirt daher den Wein, um aus ihm Weingeiſt zu gewinnen; denn da der Dampf des Weingeiſtes in der Kühlröhre noch als Dampf fortgeht, wenn das mit aufgeſtiegene Waſſer ſich ſchon niederſchlägt,

ſo erhält man den Weingeiſt deſto gereinigter, deſto ſtärker und von deſto geringerm ſpecifiſchen Gewichte, je früher ſich die niedergeſchlagenen weniger elaſtiſchen Waſſerdämpfe abſondern. Will man eine ſolche Deſtillation bei geringerer Wärme bewirken, ſo muß man ſie in luftleeren Gefäßen vollbringen. Man macht dann die Einrichtung ſo, daß aus dem Raume über der zu deſtillirenden Flüſſigkeit durch Waſſerdämpfe, die man durch eine Seitenröhre einläßt, die Luft ausgetrieben wird, indem man ihr und den ſiedend heißen Dämpfen durch eine andere Röhre einen Ausgang geſtattet; hat man die Luft ausgetrieben, ſo ſchließt man jene beiden Röhren, und da alsdann, bei geringerer Wärme, wegen des mangelnden Luftdruckes die Ausdünſtung lebhaft fortgeht, ſo hat man nur nöthig, die Kühlröhre oder das Gefäß, worin das Deſtillat ſich ſammeln ſoll, mit Eis zu umgeben, damit dort der in dem andern Gefäße entſtandene Dampf ſich niederſchlage und immer neuer Verdampfung in jenem Gefäße Raum gebe. Auf dieſe Weiſe kann man ſelbſt bei ſehr niedrigen Temperaturen deſtilliren, was den Vortheil hat, theils ſogar ohne allen künſtlichen Wärmeaufwand den Zweck zu erreichen, theils da, wo große Hitze nachtheilige Veränderungen hervorbringen könnte, dieſe zu vermeiden.

In ſchwächerm Maaße findet ſelbſt im luftvollen Raume eine Deſtillation auch bei geringer Wärme ſtatt. Stellt man nämlich die Kühlröhre A und das zum Aufnehmen des Deſtillats beſtimmte Gefäß B (XI. Fig. 26) in eine ſtark abkühlende Eismiſchung, ſo ſchlagen ſich die bei gewöhnlicher Wärme in C erzeugten Dämpfe in B und A nieder, und während ſich in C immer neue Dämpfe bilden, ſammelt ſich die übergegangene Flüſſigkeit in dem Gefäße B.

Dampfkugel; Aeolipile. Dampfgebläſe.

Wenn man Waſſer in einem metallenen Gefäße, das oben nur eine enge Röhre zum Auslaſſen des Dampfes hat, erhitzt, ſo dringt der Dampf aus der Röhre mit bedeutender Gewalt, als heißer Wind, hervor, und man hat alſo eine Windkugel oder Aeolipile. Noch heftiger iſt dieſes Hervordringen, wenn man ein ſehr ſtarkes ganz geſchloſſenes, aber mit einem Hahne verſehenes Gefäß, den Papinianiſchen Topf oder Digeſtor, ſo erhitzt, daß die Dämpfe eine viel größere Hitze und Elaſticität erlangen, als beim freien Kochen; öffnet man nämlich da den an dem obern Theile des Gefäßes angebrachten Hahn, ſo dringen die Dämpfe mit der größten Gewalt, ſo daß ſie einen hoch hinaufgehenden Dampfſtrahl bilden, hervor. Damit man zugleich einen belehrenden Verſuch mit dem Papinianiſchen Topfe anſtellen könne, iſt es gut, ein in den Dampfraum reichendes Thermometer A und ein durch Compreſſion der Luft den Druck der Dämpfe abmeſſendes Barometer B anzubringen (XI. Fig. 27). Um aber vor dem Zerſprengen des Topfes ſicher zu ſeyn, muß man auch ein Sicherheitsventil C anbringen, das ſich bei zu ſtarkem Drucke von ſelbſt öffnet. Jene Dampfkugel läßt ſich mit Weingeiſt gefüllt zum Gebläſe, das eine Flamme anfachen ſoll, brauchen, wenn man den Weingeiſtdampf auf die Flamme zuſtrömen läßt, wo dann der

Weingeiſtdampf ſelbſt mit verbrennt. Mit Weingeiſt giebt die Dampfkugel noch zu einem angenehmen Experimente anderer Art Gelegenheit. Man ſchraubt nämlich, nachdem die Dampfkugel größten Theils mit Weingeiſt gefüllt iſt, eine bis beinahe auf den Boden des Gefäßes reichende und oben als enge Sprungröhre hervorragende Röhre AB (XI. Fig. 28) an, ſetzt dann die Kugel auf eine hinreichend erhitzende Flamme und bewirkt nun, indem der Raum CD ſich mit elaſtiſchem Dampfe füllt, ein Hervorſpringen des erhitzten Weingeiſtes bei B. Zündet man den hervorſpritzenden Weingeiſt an, ſo bildet er eine Feuerfontaine.

Die Dampfmaſchine.

Aber vielſeitiger und eben dadurch wichtiger als alle bisher angeführten Anwendungen des Waſſerdampfes iſt die Anwendung ſeiner Elaſticität zur Bewegung der Maſchinen. Die Dampfmaſchinen haben durch die große Gewalt, mit welcher ſie wirken, durch ihre Unabhängigkeit von örtlichen Umſtänden, durch den kleinen Raum, den ſie, ſelbſt bei großer Wirkſamkeit, nur fordern, und endlich durch ihre Fähigkeit, ſich ſelbſt fortzubewegen, alle andern Maſchinen in den Schatten geſtellt. Das Princip ihrer Wirkſamkeit iſt ein ſehr einfaches. In einem Cylinder, der ſich von dem Dampfkeſſel aus mit Dampf anfüllt, befindet ſich ein beweglicher Kolben, den die Elaſticität des Dampfes fortſchiebt; hat er den Punkt erreicht, bis zu welchem er vorrücken ſoll oder kann, ſo verſchließt man entweder den Zutritt des Dampfes und kühlt dieſen ab, damit der Druck der Atmoſphäre den Kolben zurückdränge, oder man leitet den Dampf nach der andern Seite des Kolbens, damit der Dampf ſelbſt das Zurückdrängen bewirke; darin beſteht die ganze Hauptanordnung der Dampfmaſchine, die im erſten Falle eine einfach wirkende, im letztern eine doppelt wirkende Maſchine iſt.

Schon gegen das Ende des 17. Jahrhunderts machten Papin und Savery die Bemerkung, daß die große Gewalt der Dämpfe dieſe zur Betreibung von Maſchinen anwendbar mache, und unvollkommene Dampfmaſchinen wurden bald nachher (die erſte wohl von Savery) verfertigt, im Jahre 1705 aber von Newcomen weſentlich verbeſſert. Die Bemerkung, daß der abgekühlte oder condenſirte Dampf ſeine Elaſticität faſt völlig verliere, leitete auf den Gedanken, nur das Fortſchieben des Kolbens nach der einen Richtung durch die Kraft der Dämpfe zu bewirken, und nach der Zerſtörung des Dampfes durch Abkühlung (Condenſation) dem Luftdrucke die Zurückführung des Kolbens zu ſeiner erſten Stellung zu überlaſſen. Man brachte daher zwei Hähne an, die beide zu dem Raume führten, welcher zwiſchen dem Dampfkeſſel und dem Kolben liegt, und deren einer den heißen Dampf, der andre kaltes Waſſer einließ; dieſe wurden abwechſelnd geöffnet und geſchloſſen, ſo daß der Dampfhahn offen blieb, ſo lange der Kolben ſich von dem Dampfkeſſel entfernte, aber ſich ſchloß, ſobald der Kolben die Grenze ſeines Vorrückens erreicht hatte, dagegen der Hahn, welcher kaltes Waſſer einſpritzen

ließ, erſt geöffnet wurde, aber bis dahin geſchloſſen blieb, ſo lange neuer Dampf einſtrömte. Man kam bald auf Einrichtungen, wodurch die Steuerung dieſer Hähne, ihre richtige Oeffnung und Schließung, durch die Maſchine ſelbſt hervorgebracht ward; aber ein großer Nachtheil war unvermeidlich mit dieſer Einrichtung verbunden, nämlich die ſtets erneuerte Kälte des Cylinders, welcher durch den wieder eintretenden Dampf erſt wieder erwärmt werden mußte, dadurch aber mehr Aufwand an Feuer forderte. Ein Mittel, dieſer ſteten Zerſtörung des Dampfes auszuweichen, mußte daher als eine große Verbeſſerung der Dampfmaſchine angeſehen werden, und dieſes erfand Watt (in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts), indem er dem Dampfe eine doppelte Leitung gab, um aus dem Dampfkeſſel ſowohl auf die eine als auf die andere Seite des Kolbens zu gelangen (ſo daß die Maſchine aus einer einfach wirkenden eine doppelt wirkende wurde), und indem er, während der Dampf auf die eine Seite wirken ſollte, dem bis dahin an der andern Seite eingeſchloſſenen Dampfe einen freien Uebergang in die Luft oder in einen abgeſondert liegenden Condenſator geſtattete.

Da der Zweck der Dampfmaſchine fordert, nicht allein daß eine Bewegung anderer Maſchinen, die Hebung und Senkung von Pumpenkolben, die Drehung von Mühlen, Rädern u. ſ. w. bewirkt werde, ſondern auch daß die Steuerung der den Zutritt des Dampfes regulirenden Hähne, die Zuführung neuen Waſſers in den Dampfkeſſel und alles, was die Maſchine ſelbſt bedarf, durch jenen vermittelſt des Dampfes in Bewegung geſetzten Kolben hervorgebracht werde, ſo iſt die ganze Maſchine faſt nothwendig ſehr zuſammengeſetzt. Ich begnüge mich daher, Sie nur auf die Haupttheile aufmerkſam zu machen. Die Dampfröhre (XI. Fig. 29), die von dem Keſſel N ausgeht, leitet den Dampf zu der Röhre DE, welche bei D eine Oeffnung zum obern Theile, bei E zu dem untern Theile des Cylinders V, in welchem der Kolben W auf und nieder geht, hat. Eine zweite, neben jener liegende Röhre FB führt von eben jenen Oeffnungen des Cylinders zu dem Condenſator A. Bei E und D ſind Hähne, welche die Leitung des Dampfes in den Cylinder abwechſelnd öffnen und ſchließen, und ebenſo ſind bei F und B zwei Hähne für die Leitung zu dem Condenſator. Iſt nun, wie es die Figur darſtellt, der Kolben oben, ſo drückt bei a ein Vorſprung an der Stange C auf den die Hähne D und B regierenden Winkelhebel und beide Hähne öffnen ſich; ein zweiter Vorſprung drückt auf den Anſatz b der Hähne E, F, die ſich dadurch beide ſchließen; ſo iſt alſo der Zufluß D des Dampfes in den Raum oberhalb des Kolbens und zugleich die Röhre B geöffnet, welche den unterhalb befindlichen Dampf in den mit kaltem Waſſer immer kalt erhaltenen Raum A leitet, und der Kolben wird herabgedrückt, weil der unten geſammelte Dampf, ohne erheblichen Widerſtand zu leiſten, aus dem untern Raume abfließt. Wenn der Kolben unten anlangt, ſo bringen die an der Stange C in richtiger Entfernung angebrachten Vorſprünge die entgegengeſetzte Drehung der Hähne hervor, und nun iſt alſo F geöffnet und D geſchloſſen, das heißt,

es gelangt in den obern Raum kein neuer Dampf mehr, ſondern der dort vorhandene findet freien Ausweg in den Condenſator, weil zugleich F geöffnet iſt, dagegen iſt dem Dampfe der Zugang nach dem untern Theile bei E geſtattet, die Verbindung mit dem Condenſator aber bei B geſchloſſen. Die übrigen Theile der Maſchine will ich nur kurz angeben. Daß bei S an dem andern Arme des Waagebalkens oder Balanciers QT ſich die in Bewegung zu ſetzenden Theile der Maſchine befinden, läßt ſich leicht überſehen; Q iſt eine Verbindung beweglicher Stangen, das ſogenannte Watt'ſche Parallelogramm, welche die Kolbenſtange hindert, eine ſchiefe Richtung bei dem Hin- und Hergehen des Waagebalkens QT anzunehmen; bei G wird das ſich im Condenſator ſammelnde Waſſer nach K, L gepumpt und durch die Röhre LM zum Erſatze des verdampfenden Waſſers dem Keſſel N zugeführt. [1]

Dieſe Maſchinen können einen größern oder kleinern Druck ausüben, indeß betrug bei den frühern Einrichtungen die Elaſticität der Dämpfe nicht erheblich mehr (ſelten um die Hälfte mehr) als der Druck der Atmoſphäre. Dampfmaſchinen von ſo geringem Drucke (Niederdruck- oder Condenſationsmaſchinen genannt) ſind weniger Gefahren ausgeſetzt, aber wenn ſie bedeutende Wirkung leiſten ſollen, ſo muß der Kolben ſehr groß ſeyn, indem zum Beiſpiel, wenn der Dampf gerade den Druck von 15 Pfund auf den Quadratzoll, ungefähr dem der Atmoſphäre gleich, ausübt, der Kolben 1000 Quadratzoll Fläche oder beinahe 3 Fuß Durchmeſſer haben muß, um 15000 Pfund Kraft zu beſitzen. Es iſt daher in vieler Hinſicht vortheilhafter, Dampfmaſchinen von hohem Drucke anzuwenden, das heißt, den Dämpfen eine Hitze, welche die Kochwärme

[1] Da Fig. 29 (Taf. XI.) die Theile der Maſchine noch vollſtändiger zeigt, ſo wird es wohl manchen Leſern angenehm ſeyn, noch näher den Zweck der einzelnen Stücke kennen zu lernen, die bei Watt's Maſchinen vorkommen, und die, wenn ſie auch bei den mannigfaltig abgeänderten Dampfmaſchinen nicht ganz ſo vorkommen, doch einen Begriff von den vielen Zwecken, denen die Maſchine Genüge leiſtet, geben. Daß der Keſſel N in X und bis an xx mit Waſſer gefüllt und in ZZZ vom Feuer umgeben iſt, erhellt leicht. Aus dem Keſſel gehen zwei Röhren d, e herauf, die gewöhnlich verſchloſſen ſind; da die eine etwas tiefer als die dem Waſſer beſtimmte Grenze reicht, die andre nicht ganz ſo tief, ſo giebt beim Oeffnen die eine Waſſer, die andre Dampf, wenn das Waſſer ſeine richtige Höhe hat; geben beide Waſſer, ſo iſt der Keſſel zu ſehr gefüllt, geben beide Dampf, ſo iſt zu wenig Waſſer da; beides iſt nachtheilig und daher zu vermeiden. Der Zufluß des Waſſers durch die Röhre LM wird vermittelſt des Schwimmers f regulirt; wenn ſich dieſer hebt, alſo das Waſſer zu hoch ſteht, ſo ſchließt der an dem kleinen Hebel gh angebrachte Schieber k den Zufluß, welcher ſich dagegen öffnet, wenn der Schwimmer zu ſehr ſinkt, in welchem Falle durch M Waſſer zufließt. Wie die Dampfröhre DY den heißen Dampf in die Röhre DE und durch die Oeffnungen D und E in den obern und untern Theil des Cylinders V führt, iſt oben beſchrieben; die Hähne D und E öffnen und ſchließen ſich abwechſelnd und die mit dem Kolben herauf- und herabgehende Stange C dreht durch die Verbindungsſtangen aD, bE dieſe Hähne. Neben DE geht die Röhre FB in den mit kaltem Waſſer umgebenen Condenſator A herab; ihre Hähne F und B, durch die Stangen Fb, aB regiert, geſtatten dem Dampfe den Abfluß, wenn er nicht mehr wirken ſoll. Die Stange C, die dieſe vier Hähne bewegt, dient zugleich, das etwas erwärmte Waſſer aus dem Condenſator weg nach K zu bringen, damit der in der Röhre LL ſich bewegende Pumpenkolben dieſes Waſſer in den Keſſel zurückführe; auch dieſe Pumpe wird, weil ihre Kolbenſtange an dem Waagebalken QT hängt, mit in Bewegung geſetzt. Endlich zieht auch noch die Kolbenſtange R den Kolben der Pumpe P herauf, um kaltes Waſſer zur Abkühlung des Condenſators nach tt zu bringen. So bringt die Maſchine ſelbſt alle die Theile in Bewegung, die zur Unterhaltung der Bewegung dienen; bei TS aber iſt die Stange, welche das Hauptrad der in Bewegung zu ſetzenden Maſchine treibt; die in einander greifenden Räder bei r ſind beſtimmt, dieſe Bewegung gleichförmiger zu machen.

des Waſſers weit übertrifft, und mithin auch eine Elaſticität, welche den Druck der Atmoſphäre beträchtlich (wenigſtens 2—3mal) überſteigt, zu geben, indem es nur dadurch möglich iſt, die Abmeſſungen der Maſchine bei gleicher Wirkſamkeit bedeutend zu vermindern.[1] Dieſes hat ſelbſt in Rückſicht auf den Aufwand an Feuerungsmaterial Vortheile; denn wenn gleich die hervorgebrachte Elaſticität des Dampfes an ſich ſelbſt nicht in ſtärkerem Maaße als der Wärmeaufwand wächſt, ſo läßt ſich doch leicht überſehen, daß man bei kleinen Abmeſſungen der Maſchine den unnützen Verluſt von Wärme viel leichter hindern kann, als bei großen Maſchinen. Außerdem wird die Maſchine durch Weglaſſung des Condenſators und anderer Theile, die nun nicht mehr nöthig ſind, nicht wenig vereinfacht. Der Dampf wird hier, nachdem er ſeine Dienſte gethan hat, in die freie Luft gelaſſen.

Unter den Maſchinen von hohem Drucke, welche zuerſt von Trevithick in England und Evans in America ausgeführt wurden, wiewohl ſchon Watt daran gedacht hat, hat ſich unter andern die von Perkins einen vorzüglichen Ruhm erworben, und da es hier nicht meine Abſicht ſeyn kann, Sie mit vielerlei Abänderungen der Dampfmaſchine bekannt zu machen, ſo will ich nur von dieſer Perkins'ſchen Maſchine noch etwas ſagen. Da hier mit einem Drucke von 35 Atmoſphären, wie Perkins angiebt, gearbeitet wird,[2] ſo müſſen alle Theile der Maſchine, zu welchen der Dampf während ſeiner vollen Elaſticität Zutritt hat, ſehr ſtark gearbeitet ſeyn, und ſie ſind dieß in dem Grade, daß ſie einen Druck von 4000 Pfund auf den Quadratzoll, alſo von 350 Atmoſphären auszuhalten vermögen. Der Dampfkeſſel oder, wie er von Perkins genannt wird, der Generator des Dampfes AB (XI. Fig. 30) ſteht mitten in dem durch ſtarkes Anblaſen kräftig angefachten Feuer CDE, das bei F ſeinen fernern Zug hat. Aus dem Dampferzeuger AB geht eine nach dem Cylinder führende Röhre aaa, deren Ventil b ſo belaſtet iſt, daß es ſich erſt öffnet, wenn der Dampf 35mal ſo ſtark als die Atmoſphäre drückt; mit dieſer Kraft alſo wird der Kolben der Maſchine fortgetrieben. Eine zweite vom Generator ausgehende Röhre ccc trägt ein Sicherheitsventil, nämlich ein Ventil, das ſich öffnet, wenn die Dämpfe jenen erforderlichen Grad von Elaſticität bedeutend überſteigen, und dann die zu heftig wirkenden Dämpfe in die freie Luft ableitet; eine dritte Röhre dddd, durch ein mit 37 Atmoſphären belaſtetes Ventil geſchloſſen, führt überflüſſigen Dampf oder überflüſſiges Waſſer in das zu Abkühlung der Dämpfe beſtimmte Gefäß GH. Eine vierte Röhre ffff ſteht mit einer ſtarken Druckpumpe I in Verbindung, die immerfort durch zugepumptes, ſchon warmes Waſſer den Abgang im Dampfgenerator erſetzt; ſie muß eine Kraft von reichlich 35 Atmoſphären ausüben, damit das

[1] Gewöhnlich unterſcheidet man Niederdruckmaſchinen, in denen der Dampf höchſtens eine Spannung von 1½ Atmoſph. erlangt, Mitteldruckmaſchinen, in denen er einen Druck von 2—4 Atmoſph., und Hochdruckmaſchinen, in denen er einen Druck von 4, 5 oder mehr Atmoſph. ausübt. (M.)

[2] Gegen die Richtigkeit dieſer Angabe von Perkins ſind ſpäter erhebliche Zweifel erhoben worden. (M.)

zuſtrömende Waſſer nicht durch den ſo ſehr elaſtiſchen Dampf zurückgedrängt werde; indeß da ſie nur einen geringen Durchmeſſer zu haben braucht, ſo beträgt dieſe Kraft von 35 Atmoſphären doch nicht ſo ſehr viele Pfunde, ſondern bei 1/4 Zoll Durchmeſſer würden 110 Pfund Druck auf den Kolben dieſer Waſſerpumpe I zureichen. Die Zuführung der Dämpfe zu dem Cylinder, worin der Kolben ſich bewegt, können Sie ſich von a aus ungefähr wie bei andern Dampfmaſchinen vorſtellen, nur daß die Ableitung der Dämpfe nach vollendeter Wirkung durch die Röhre gggg nicht nach einem kalten Condenſator hin ſtatt findet, ſondern die in dieſem Falle ſehr elaſtiſchen Dämpfe ſich mit hinreichender Schnelligkeit in einen bedeutend erwärmten Raum GH ergießen, aus welchem dann das aus ihnen entſtandene, immer noch ſehr heiße Waſſer durch die Röhre hhhh jener Druckpumpe I zugeführt und ſo in den Dampfgenerator zurückgebracht wird. K, K ſind zwei Gewichte, die vermittelſt der Hebel LK, LK die Ventile bei d und b mit gehöriger Gewalt zudrücken.

Bei einer ſolchen Perkins'ſchen Maſchine betrug der Durchmeſſer des die ganze Maſchine treibenden Kolbens nur 2 Zoll, aber dennoch mußte die Wirkung, welche ſie ausübte, 1600 Pfund betragen. Eine ſo kleine und folglich, wenn gleich alle Theile ſehr ſtark ſeyn müſſen, dennoch nur leichte Maſchine iſt offenbar ganz geeignet, in dem engen Raume eines Dampfwagens bequem gebraucht zu werden.

Noch iſt zu erwähnen, daß man bei vielen in der neueſten Zeit conſtruirten Maſchinen den Dampf nicht ſo lange, bis der Kolben das Ende ſeiner Bahn erreicht hat, zum Kolben ſtrömen läßt, ſondern früher abſperrt, ſo daß er ſich ausdehnt und in Folge dieſer Ausdehnung den Kolben noch weiter treibt oder, wie man ſich ausdrückt, mit Expanſion arbeitet. Hierdurch kann die Leiſtung des Dampfes noch anſehnlich erhöht werden.

Beſtimmung des Effects der Dampfmaſchinen. Anwendung bei Dampfſchiffen und Dampfwagen.

Wie man den Druck berechnet, welchen Dämpfe von beſtimmter Elaſticität auf einen Kolben von gegebener Größe ausüben, brauche ich wohl kaum zu erwähnen. Sie erinnern ſich, daß die Atmoſphäre auf jeden Quadratzoll (pariſ. Maaß) ungefähr 15 Pfund Druck ausübt, alſo ein Dampf von der Elaſticität, die wir 10 Atmoſphären nennen, 150 Pfund auf den Quadratzoll, 15000 Pfund auf 100 Quadratzoll u. ſ. w. Man pflegt die Kraft der Dampfmaſchinen nach Pferdekräften anzugeben, und obgleich man leicht obenhin verſteht, was damit gemeint iſt, ſo iſt es doch nothwendig, in wiſſenſchaftlicher Beziehung dieſen offenbar etwas ſchwankenden Begriff näher zu beſtimmen. Die Angaben hierüber ſind bedeutend ungleich. Nach Edwards kann ein Pferd, das Stunden lang gleichmäßig fortarbeitet, ein Gewicht von 150 Pf. in einer Minute 220 Fuß hoch heben, und dieſes kann man ſo anſehen, als ob $150 . 220 = 33000$ Pfund in einer Minute 1 Fuß gehoben würden; damit

ſtimmen auch Watt und Girard überein. Andre Schriftſteller dagegen, namentlich Smeaton, ſetzen die Kraft eines Pferdes nur ſo groß, daß dadurch 23000 Pfund in 1 Minute 1 Fuß hoch gehoben werden könnten; Prony nimmt ſie ſogar noch geringer an. Hiernach müßte man den Effect auf folgende Weiſe berechnen. Eine Maſchine in den Gruben von Cornwallis, nach Watt's Anordnung erbaut, hatte einen Kolben von 63 Zoll Durchmeſſer oder 3117 Quadratzoll; hätte ſie nun mit einer Kraft von 2 Atmoſphären gearbeitet, ſo hätte der Druck auf den Kolben 93510 Pfund betragen. Dieſe Maſchine hob in je 10 Secunden 82000 Pf. (ungefähr 1170 Cubikfuß) Waſſer in einem Hube 16 Fuß hoch, alſo 6 . 82000 = 492000 Pfund in 1 Minute 16 Fuß hoch, wofür wir 7872000 Pfund in 1 Minute 1 Fuß hoch ſetzen; dieſer Effect betrug alſo 239 Pferdekräfte (zu 33000 Pfund) nach Watt's Angabe oder 342 Pferdekräfte (zu 23000 Pfund) nach Smeaton's Angabe und erſetzte, da die Maſchine Tag und Nacht arbeitete, ein Pferd aber nur 8 Stunden fortarbeiten kann, wenigſtens 720 Pferde. Wenn man bei Perkins' Maſchine annimmt, daß ſie wirklich mit 35 Atmoſphären Druck arbeitete, welches auf einen Kolben von 2 Zoll Durchmeſſer gegen 1650 Pfund Druck beträgt, und wenn man die Angabe hinzufügt, daß der Kolben in jeder Min. 100 Kolbenzüge von 1 Fuß vollendete, ſo hätte man 1650 . 100 = 165000 Pfund 1 Fuß hoch in jeder Minute gehoben, welches nach Watt 5 Pferdekräfte, nach Smeaton aber 7 Pferdekräfte betrüge.

Es würde, ſcheint mir, hier zu einer allzu weitläuftigen Betrachtung führen, wenn ich Sie mit dem Feuerungsaufwande, den die Maſchinen fordern, unterhalten wollte. Die Maſchinen von hohem Druck gewähren dabei mehr als einen Vortheil, indem der Wärmeverluſt nicht in dem Grade zunimmt, wie die mit mäßigen Temperaturveränderungen ſo bedeutend ſteigende Elaſticität der Dämpfe, und indem die Reibung des Kolbens doch immer nur dieſelbe bleibt, während die Kraft ſo vielfach geſteigert und alſo mit einem nach Verhältniß der ganzen Kraft geringeren Verluſte nützlich angewendet wird. Aber beſonders in Hinſicht auf Benutzung der Feuerung ſind hier die mannigfaltigſten Verbeſſerungen angebracht worden. Die Aufſtellung des Dampfkeſſels mitten in dem Feuer ſelbſt, die Umgebung des Feuers mit Wänden, die den Wärmeverluſt hindern, die vortheilhafteſte Anordnung der Luftzüge, um das Feuer anzublaſen, die Zuſammenſetzung der in dem Keſſel ſelbſt herumgeführten Feuerzüge u. ſ. w. ſind Umſtände, die offenbar hier von großer Bedeutung ſind. Nach engliſchen Berichten hebt im Jahr 1811 eine Maſchine der beſten Art nach Watt's Conſtruction mit 1 Buſhel Steinkohlen, als Feuerung aufgewandt, bei der damals noch viel geringern Vollkommenheit der Maſchinen nur 15¾ Millionen Pfund Waſſer 1 Fuß hoch, im Jahr 1815 20¾ Millionen Pfund, aber ſchon Woolf's Verbeſſerungen brachten dieſe Quantität auf 46 Millionen Pfund, eine neuere Maſchine hebt mit gleichem Kohlenaufwand 61¾ Millionen Pfund und jetzt ſollen einige Maſchinen ſogar über 90 Millionen Pfund heben. Da 1 Buſhel nur wenig über 1 Cubikfuß beträgt, alſo an

Gewicht 120 Pfund betragen mag, ſo gäbe das ſchon bei Woolf's Verbeſſerungen beinahe das 400000fache Gewicht.

Daß die große Gewalt, welche man durch die Dämpfe hervorbringt, zur Betreibung aller Arten von Maſchinen angewandt werden kann, iſt offenbar, und es giebt kaum noch eine Art von Maſchinen, die man nicht ſchon durch ſie in Bewegung geſetzt hätte. Faſt am allermeiſten haben die Dampfböte und die Dampfwagen die Aufmerkſamkeit der Menſchen auf ſich gezogen, theils wegen der Schnelligkeit und Sicherheit, mit welcher ſie die Reiſenden befördern, theils durch die ungeheuern Laſten, die ſie mit einer bis dahin unerreichbaren Geſchwindigkeit von einem Ort zum andern bringen.

Die Einrichtung der Dampfſchiffe — deren erſtes im Jahre 1803 von dem Nordamericaner Robert Fulton gebaut und in Gang geſetzt wurde — iſt ſehr leicht zu überſehen. Die Dampfmaſchine, die ſich im Innern des Schiffes befindet, treibt ein in der Mitte des Schiffes angebrachtes oder (was jetzt faſt allgemein eingeführt iſt) zwei an beiden Seiten befindliche Schaufelräder, deren breite Flächen, ſo wie die Ruderflächen, ſich gegen das Waſſer drängen und daher das Schiff fortſchieben. Der Keſſel ſind in der Regel mehrere (zuweilen ſechs und noch mehr) vorhanden. Bei der Schiffsdampfmaſchine liegt der Balancier und iſt unten angebracht, und zwar einer auf jeder Seite der Maſchine, man hat jedoch auch Schiffsdampfmaſchinen ohne Balancier gebaut. In der Regel ſtehen zwei Maſchinen neben einander, die an derſelben Achſe der Schaufelräder arbeiten. Man giebt dieſen Schiffen jetzt bis zu 320 Fuß Länge und 50 Fuß Breite und läßt ſie mit einer Gewalt von 600 bis 1000 Pferdekräften fortgehen. Sie durchlaufen zwar gewöhnlich nur 1 bis 1½ Meile in der Stunde, aber es giebt Dampfböte, die 16 engl., alſo 3½ deutſche Meilen in der Stunde zurücklegen, und es würde nicht eben ſchwer ſeyn, ihnen ſelbſt eine größere Geſchwindigkeit, ungeachtet des dann freilich ſtark wachſenden Widerſtandes, zu geben, wenn nicht theils der dadurch in ſtarkem Maaße vermehrte Koſtenaufwand, theils doch auch die bei vermehrter Geſchwindigkeit aus jedem Unfalle entſtehenden Gefahren hiebei eine gewiſſe Grenze ſetzten. Die früher für ganz unmöglich angeſehene Sicherheit, eine Zeit zu beſtimmen, wo der Reiſende bei einer weiten Reiſe zu Waſſer an einem gewiſſen Orte ankommen ſoll, ferner die Erſparniß an Zeit bei Seereiſen und noch gewiſſer bei Flußreiſen, welche ſonſt ſo leicht durch Zufälle verzögert werden konnten, ſind ungemein große Vortheile, die durch die Dampfſchifffahrt erlangt werden. Denn obgleich heftige Stürme wohl für immer unüberwindliche Hinderniſſe bei allen Verbindungen zur See in den Weg ſtellen werden, ſo ſind doch dieſe verhältnißmäßig ſo ſelten, daß man es nur als eine einzelne Ausnahme anſehen kann, wenn durch ſie die ſichere und ſchnelle Verbindung ſehr entfernter Oerter gehindert wird. Ueberdieß wird durch Dampfſchiffe auch die Gefahr, von Stürmen überfallen zu werden, wegen der kurzen Zeit, die der Reiſende auf dem Waſſer zubringt, ſehr vermindert. [1]

[1] In der neueſten Zeit iſt die Anwendung der Dampfſchiffe dadurch ſehr geſteigert und ausgedehnt

Wie aber bei den Reiſen zu Waſſer eine Erſparniß an Zeit bewirkt wird und dadurch auch die Reiſen überhaupt ungemein erleichtert ſind, ebenſo iſt es auch mit den Dampfwagen der Fall; indeß bot die Anwendung der Dampfwagen ganz eigenthümliche Schwierigkeiten dar, die man lange für unüberſteiglich hielt. Der Gedanke ſchien ſehr nahe zu liegen, daß man eine auf Rädern ruhende Dampfmaſchine bauen, daß an der gemeinſchaftlichen Axe zweier dieſer Räder eine Kurbel oder ein gezahntes Rad angebracht und durch die Dampfmaſchine in Bewegung geſetzt werden könne; es iſt ganz offenbar, daß dann dieſe beiden Räder in Umdrehung geſetzt werden und durch ihr Fortwälzen über den Boden den ganzen Apparat fortbewegen. Aber dieſer einfache Gedanke iſt nicht ſo leicht ausgeführt. Wenn man eine Dampfmaſchine in einer Fabrik und ſelbſt, wenn gleich da ſchon bei beſchränkterem Raume, in einem Dampfſchiffe einrichtet, ſo kann man ſich hinreichenden Platz nehmen, um die Maſchine gehörig groß anzulegen; es kommt auch auf ein größeres Gewicht aller Theile der Dampfmaſchine nicht ſo ſehr an und man kann alle Mittel zur Verſtärkung des Feuers durch große Blaſebälge und durch hohe Schornſteinröhren ohne Schwierigkeit anbringen. Bei einem Dampfwagen hingegen iſt der Raum im höchſten Grade beſchränkt, die Anbringung hoher Schornſteine unbequem und faſt unmöglich, und ſo findet der Erbauer der Maſchine ſich mannigfaltig von allen Seiten eingeengt. Die Maſchinen von hohem Drucke, die in kleinen Abmeſſungen ausgeführt doch große Wirkung geben, bieten hier allerdings ein wichtiges Hülfsmittel dar; aber je ſtärkere Elaſticität der Dämpfe ſie fordern, deſto heftiger muß auch die Hitze ſeyn, deſto mehr Mittel, um das Feuer kräftig anzublaſen, muß man beſitzen, und dieſes in ſo kleinem Raume auszuführen iſt daher eine Hauptaufgabe, mit deren immer vollſtändigerer Auflöſung ſich die Verfertiger von Dampfwagen beſchäftigen.

Jede Locomotiv-Dampfmaſchine hat nach der jetzt üblichen Einrichtung zwei in der Regel horizontal liegende Dampfcylinder, die aus einem einzigen Keſſel mit Dampf geſpeiſt werden und in denen Kolben hin- und hergehen. Jeder dieſer Kolben theilt ſeine Bewegung mittelſt einer Kolbenſtange und einer Kurbel derjenigen Welle mit, an welcher die beiden Triebräder des Wagens befeſtigt ſind. Außer dieſen hat der Wagen noch zwei, vier oder ſechs andre Räder (Tragräder).[1] Der Keſſel iſt ganz anders als bei den ſtehenden und Schiffsdampfmaſchinen eingerichtet; durch ſein Inneres gehn nämlich eine Menge (60—120 und noch mehr) metallene horizontal liegende Röhren, die an beiden

worden, daß man ſie ſeit 1838 auch zu ſehr langen Seereiſen (z. B. zwiſchen Europa und America) anwendet, was man früher wegen der zu großen Menge des mitzunehmenden Brennmaterials für unausführbar gehalten hatte. Statt der Schaufelräder wendet man ſeit einigen Jahren, namentlich in England, nach dem Vorgange Smith's (1837) immer häufiger die Archimediſche Schraube (Waſſerſchnecke) an, woraus ſich gewiſſe eigenthümliche Vortheile ergeben und viele Uebelſtände der Schaufelräder vermieden werden. Statt einer einzigen kann man mehre neben einander, auch eine vorn und eine hinten anbringen. (M.)

[1] Gegenwärtig wird ziemlich allgemein den ſechsrädrigen Locomotiven, mit zwei großen Triebrädern und vier kleinen oder vier großen und zwei kleinen Rädern, der Vorzug gegeben. (M.)

Seiten offen ſind, vom Feuer durchſtrichen werden und die Vergrößerung der Heizfläche und des Zugs bezwecken. An der einen Seite dieſes Keſſels, die den angehängten Wagen zugekehrt iſt, befinden ſich der Feuerraum, an der andern der Rauchkaſten, welcher in einen Schornſtein endigt.

Auf unſern gewöhnlichen Wegen ſind, ſelbſt wenn ſie horizontal fortgehen, noch mehr aber, wenn ſie anſteigen, die Hinderniſſe der Bewegung ſo groß, daß man ſogar in England es noch nicht zweckmäßig gefunden hat, auf Chauſſeen Dampfwagen anzuwenden, ſondern dieſe nur auf den Eiſenbahnen gebraucht, welche nach dem früher Geſagten (ſ. S. 36 fg.) bei der Fortſchaffung der Laſten eine ſo große Erleichterung gewähren.

Die Anwendung der Dampfwagen in England datirt eigentlich erſt ſeit der Eröffnung der Eiſenbahn von Liverpool nach Mancheſter im Jahre 1830, da frühere Verſuche (ſeit 1804) ſehr mangelhaft waren und daher wenig beachtet und verfolgt wurden, und hat ſich ſeitdem mit reißender Schnelligkeit nach Nordamerica, Deutſchland, Frankreich, Belgien u. ſ. w. verbreitet. Ein einziger Dampfwagen, deſſen Maſchine nicht leicht über 30—40 Pferdekräfte hat, bringt mit einer Geſchwindigkeit von vier und mehr Meilen in der Stunde auf einer horizontalen Eiſenbahn in einer Reihe angehängter Wagen 500—1000 Perſonen oder 2—4000 Ctr. Güter fort; iſt aber die Bahn nicht horizontal, ſo wird die Leiſtung deſto mehr vermindert, je erheblicher die Steigung der Bahn iſt. Die Geſchwindigkeit läßt ſich außerordentlich ſteigern. In England ſoll man einmal den 7 deutſche Meilen langen Weg zwiſchen Liverpool und Mancheſter in einer halben Stunde zurückgelegt haben; gewiß iſt, daß eine Locomotive ohne angehängte Laſt in einer Stunde mit Leichtigkeit 12 und mehr Meilen zurücklegen kann, was 80 Fuß in der Secunde giebt.

Daß aus dieſer ſchnellen und leichten Verbindung große Vortheile hervorgegangen und noch zu erwarten ſind, läßt ſich leicht erachten, und es laſſen ſich auffallende Beiſpiele von dem dadurch erhöheten Betrieb und Handelsverkehr anführen. Aber die große Schnelligkeit der Bewegung führt auch große Gefahren mit ſich, indem ein bei mäßiger Schnelligkeit wenig erheblicher Unfall auf die gefährlichſte Weiſe geſteigert wird, wenn ein Fortſchleudern von 30 und mehr Fuß Schnelligkeit in einer Secunde damit verbunden iſt.

Dampfkanonen.

Es iſt nicht zu verwundern, daß man die große Elaſticität des Dampfes auch zum Forttreiben von Kugeln anzuwenden verſucht hat. Bleibt gleich die Elaſticität des Dampfes gar ſehr hinter derjenigen zurück, welche das explodirende Schießpulver ausübt, ſo hat man doch bei den Dämpfen den Vortheil, daß man die Kugel mit immer gleicher Gewalt, ſo lange ſie im Lauf der Kanone bleibt, alſo mit ſtärkerer Beſchleunigung forttreiben kann, als dieß bei dem Schießpulver der Fall iſt. Perkins hat wirkliche Verſuche mit Dampfgewehren angeſtellt, indeß iſt es bis jetzt, wie es ſcheint, bei einer geringen Anzahl von Verſuchen geblieben, über deren Erfolg man Folgendes

geleſen hat. Es wurde Dampf von 65 Atmoſphären Druck angewandt (wobei indeß die Mittel, ſich von der Abmeſſung dieſer Kraft zu verſichern, nicht angegeben ſind), und dieſe Kraft konnte ſo unausgeſetzt wirken, daß 250 Kugeln, von der Seite her immer neu in den Lauf gebracht, nach einander in einer Minute fortgeſchleudert werden konnten. Die Gewalt, mit welcher dieſe Kugeln in 105 Fuß Entfernung wirkten, war ſo groß, daß ſie durch 12 hinter einander ſtehende, einen Zoll dicke Breter ſchlugen. Zum Glück ſtehen dieſer Anwendung der Dämpfe zu einem ſo zerſtörenden Zwecke manche Hinderniſſe im Wege; denn wir dürfen wohl nicht wünſchen, daß ein ſo verheerendes Zerſtörungsmittel je den menſchlichen Händen, die ſo leicht zum Mißbrauch ihrer Kraft verleitet werden, zu Gebote ſtehen möge. [1]

Gefahren bei Anwendung der Dampfmaſchinen. Urſachen derſelben.

Abgeſehen von der eben erwähnten Beſorgniß, daß das größte Beförderungsmittel der Induſtrie zur verheerenden Gewalt angewandt werden könne, gewährten alle bisherigen Betrachtungen nur einen erfreulichen Eindruck. Durch eine ſo einfache Kraft, wie die iſt, welche ſich uns im verdampfenden Waſſer darbietet, hat der Scharfſinn der Menſchen Wirkungen zu erzielen gewußt, die alles das weit übertreffen, was die kühnſten Erwartungen unſrer Vorfahren zu hoffen wagten, ja die ſelbſt uns, ſo ſehr wir auch ſchon gewöhnt ſind, große Wirkungen zu erwarten, noch immer neue Gelegenheit zur Verwunderung geben. Und wenn man auch die in einzelnen Fällen nicht ganz ungegründete Beſorgniß hervorgehoben hat, daß man die Menſchen unbeſchäftigt der Dürftigkeit hingebe, während Maſchinen alle Arbeiten verrichten, ſo hat ſich doch im Allgemeinen die Wahrheit beſtätigt, daß die Maſchinen, indem ſie ſelbſt wieder zahlreiche Menſchen in Thätigkeit ſetzen und indem ſie die Bedürfniſſe und Annehmlichkeiten des Lebens zu geringeren Preiſen liefern, zur Verbreitung eines größern Wohlſeyns der Geſellſchaft beitragen. Aber auch dieſe mächtig wirkende Kraft führt, wie alle ſo mächtige Kräfte, große Gefahren bei ihrem Gebrauche mit ſich, und dieſe näher kennen zu lernen iſt nicht allein für die Anwendung, ſondern auch in wiſſenſchaftlicher Hinſicht wichtig.

Daß man, um den Gefahren zu entgehen, mit welchen die zerſprengende Kraft der Dämpfe die Dampfkeſſel bedroht, ein Sicherheitsventil anbringt, habe ich ſchon früher erwähnt. Es hat den Zweck, theils wenn die Entwickelung der Dämpfe in zu großer Menge ſtatt findet, theils wenn ein Hinderniß in dem Gange der Maſchine den Verbrauch der Dämpfe ſtört, ihnen

[1] Eine wirkliche Anwendung des Dampfes zu dieſem Zwecke ſcheint bis jetzt nicht ſtatt gefunden zu haben. Prechtl hat berechnet, daß die Elaſticität des Pulvergaſes im Mittel 2600 mal ſo groß als die der Luft iſt; eine ſolche könnte der Waſſerdampf nur bei der ungeheuern Hitze von 850° C. erreichen, und ſelbſt eine Elaſticität von 1000 Atmoſphären würde 660° C. fordern. An die geregelte Hervorbringung eines ſo heißen Dampfes iſt nicht zu denken; kaum dürfte ein Dampf von 100 Atmoſphären zu erreichen ſeyn. Jedenfalls würden Dampfgeſchütze ihrer Unbehülflichkeit wegen für den Feldgebrauch nicht geeignet ſeyn, wenn ſie auch auf Schiffen anwendbar ſeyn ſollten. (M.)

einen freien Ausgang zu geſtatten, ſobald ihr Druck eine gewiſſe Grenze überſteigt. Dieſes Ventil wird daher mit einem ſo großen Gewichte belaſtet, daß es bei dem ruhigen Gange der Maſchine ungeöffnet bleibt, aber aufgeſtoßen wird, wenn die Dämpfe um mehrere Grade ſtärker erhitzt werden und dadurch eine zu große Elaſticität erhalten. Daß dieſer Vorſicht ungeachtet Unglücksfälle vorkamen, glaubte man anfangs leicht daraus erklären zu können, daß entweder der Dampfkeſſel durch den Gebrauch gelitten habe und nicht mehr im Stande geweſen ſey, den ihm zugemutheten Druck zu ertragen, oder daß unvorſichtige oder unvernünftige Belaſtung des Ventiles dieſes gehindert habe, ſeinen Zweck zu erfüllen, und wirklich ließ ſich in mehreren Fällen, wenn gleich meiſtens die Maſchinenwärter bei dem Zerſprengen getödtet wurden, nachweiſen, daß dieſe ſelbſt Schuld an dem Unglücke waren. Aber keinesweges konnte man alle Unglücksfälle, deren ſich ſchon viele ereignet haben, dieſen Umſtänden beimeſſen, indem oft auch da, wo die große Stärke der zerſprungenen Keſſel den guten Zuſtand derſelben zeigte und wo ein für die Arbeiter unzugängliches Ventil durch keinen Zufall überlaſtet ſeyn konnte, der Keſſel mit der unerhörteſten Gewalt zerſprengt ward. Um von dieſer Gewalt einen Begriff zu geben, führt Arago an, daß ein Keſſel von 4 Zoll dickem geſchmiedeten Eiſen in zwei Stücke getrennt ward, deren eines 140 Centner ſchwer (der Keſſel war 37 Fuß lang, 4 Fuß breit und 4 Fuß hoch) durch das Gewölbe der Werkſtatt und durch das Dach hinaufgetrieben und 150 Fuß weit fortgeſchleudert wurde, und daß von einem Dampfbote durch das Zerſpringen des Keſſels das ganze Verdeck des Schiffes fortgeſchleudert, der 20 Centner ſchwere obere Theil des Keſſels auf 700 Fuß weit geworfen und andre Stücke hoch in die Luft hinauf getrieben wurden.

Unter den Unglücksfällen, die man einer zu großen Belaſtung des Ventiles nicht zuſchreiben konnte, zeichnen ſich beſonders diejenigen als merkwürdig aus, die bei einem vorher träger gewordenen Gange der Maſchine, oder auch nachdem der Keſſel glühend geworden war, eingetreten ſind, und bei einigen derſelben fand ſich noch die Merkwürdigkeit, daß der Keſſel nicht in einer zufällig gekrümmten Linie geborſten war, wo vielleicht zufällig der ſchwächere Zuſammenhang es veranlaßte, ſondern an der Waſſerfläche, beinahe wie grade abgeſchnitten, ſich aus einander getrennt hatte. Dieſe Umſtände haben zuerſt Perkins auf eine Erklärung dieſer Unglücksfälle gebracht, die ſehr viel Wahrſcheinlichkeit hat. In den Fällen, wo man kurz vor dem Zerſpringen den Keſſel glühend ſah, und wo das Zerſpringen ſo unmittelbar auf dieſe Erſcheinung folgte, daß man ihr nicht zuvorkommen konnte, mußte ganz gewiß das Waſſer im Dampfkeſſel zu ſehr verkocht und kein neues hinzugetreten ſeyn, indem die Dampferzeugung, wenn ſie auch bei ſehr hohen Wärmegraden ſtatt findet, doch immer noch keine Glühhitze zuläßt, ſondern einen ſo ungeheuern Wärmeaufwand fordert, daß die Erhitzung des Keſſels ungemein weit unter der Glühhitze bleibt. Der Keſſel war alſo entweder ganz oder wenigſtens an vielen von der Flamme umſpielten Stellen trocken geworden, und eben dadurch mußte, was

man oft vor dem Zerſpringen bemerkt hat, die Maſchine einen matten Gang annehmen, weil die durch dieſe große Hitze ſehr ausgedehnten Dämpfe doch nicht die Dichtigkeit hatten, die ſie früher bei niedrigerer Temperatur beſaßen, und deshalb auch, der großen Erhitzung ungeachtet, mit geringerer Elaſticität wirkten. Dieſes Trockenwerden des Keſſels konnte nur daher entſtehen, daß die dem Keſſel das Waſſer zuführende Pumpe ihre Dienſte nicht regelmäßig leiſtete, und es wäre wohl kein Unglück erfolgt, wenn ſie ganz und gar aufgehört hätte, Waſſer zuzuführen. Aber wenn ſie nun, nachdem der Keſſel eine viel zu große Hitze angenommen hatte, plötzlich einen Strom Waſſer hereinſendete, ſo wurde dieſes in einem Augenblicke in Dampf verwandelt, und zwar in Dampf von einer viel größern Hitze, alſo auch, da es ihm nun nicht mehr an Dichtigkeit fehlte, von einer viel größern Elaſticität, als man je dem Keſſel zuzumuthen beabſichtigte. So konnte alſo in demſelben Augenblicke, wo die Maſchine langſam fortging, plötzlich eine Dampferzeugung eintreten, welcher das Oeffnen des Ventils einen viel zu unvollkommenen Ausfluß geſtattete und die mit einer explodirenden Gewalt alles zerſprengte; dieſes iſt um ſo eher glaublich, da die Elaſticität des Dampfes bei höheren Temperaturen ſo mächtig wächſt und ſelbſt eine Elaſticität von 100 Atmoſphären noch bei weitem nicht die Glühhitze fordert. Perkins und Arago haben noch eine Bemerkung hinzugefügt. Selbſt wenn der Keſſel nicht leer iſt, aber die Flammen den Keſſel auch da, wo kein Waſſer darin iſt, umſpielen, kann der Keſſel oben glühend werden, während das Waſſer eine viel geringere Hitze erhält. Die Dampfentwickelung wird dann ſchwächer fortgehen, weil das Waſſer nur ungefähr ſeine gewöhnliche Hitze hat, aber der auf die Oberfläche preſſende Druck größer iſt; aber wenn nun Waſſer mit der glühenden Oberfläche in Berührung kommt, ſo tritt eine in hohem Grade vermehrte Entwickelung von Dampf und folglich die vorhin erwähnte Wirkung ein. Dabei iſt aber der Keſſel nun auch durch die plötzlich veränderte Temperatur dem Zerſpringen mehr ausgeſetzt, und vorzüglich wird dieß an der Oberfläche des im Keſſel enthaltenen Waſſers der Fall ſeyn. Es mag nämlich der ausgeleerte Keſſel plötzlich bis zu einer gewiſſen Höhe gefüllt oder es mag die nur am obern Theile glühende Fläche plötzlich benetzt werden, ſo hat die veränderte Ausdehnung des Metalles in der Waſſerfläche eine beinahe ſtreng abgeſchnittene Grenze. Im erſten Falle iſt es grade der bis an die Waſſerfläche reichende untere Theil des Keſſels, der plötzlich ſeiner Glühhitze beraubt wird und ſeine Wärme zu plötzlich entwickelten Dämpfen verwendet, und es iſt bekannt, daß ein Gefäß bei ſo plötzlicher Aenderung der Wärme ſeines einen Theiles beinahe nothwendig zerſpringt; im andern Falle, wenn, wie Perkins und Arago annehmen, durch ein gewaltſames Hervordringen der Dämpfe aus dem noch übrigen Waſſervorrathe und ein Heraufſpritzen an die Decke des Keſſels dieſe obere Hälfte des Deckels ſich plötzlich abkühlt, kann ein Sprung an der Grenze der Waſſers ebenſo gut hervorgehen.[1] Endlich iſt ohne Zweifel auch der Pfannenſtein von

[1] Arago erwähnt noch einen Umſtand, der das Zerreißen grade an der Waſſeroberfläche

Einfluß, der ſich an den Wänden des Keſſels deſto ſchneller und dicker anſetzt, je unreiner das angewandte Waſſer iſt. Da dieſer Bodenſatz ein ſchlechter Wärmeleiter iſt, ſo wird das Metall unter ihm übermäßig heiß; wenn dann in dieſem Ueberzuge Riſſe entſtehen, durch welche das Waſſer zum Metalle gelangen und daſſelbe ſchnell abkühlen kann, ſo kann leicht ein Springen des Keſſels, namentlich wenn dieſer aus Gußeiſen beſteht, bewirkt werden.

Um dieſen großen Unglücksfällen vorzubeugen, die ſchon zahlreichen Menſchen das Leben gekoſtet haben, hat man mehrere Vorſchläge gethan. Gegen eine nicht allzu plötzlich eintretende Vermehrung der Kraft des Dampfes thut gewöhnlich das Sicherheitsventil vollkommen genügende Dienſte, jedoch hat man nöthig gefunden, das Ventil nicht ſo anzubringen, daß es einen breiten Rand rund um die Oeffnung herum bedeckt, weil das Hervorbringen des Dampfes zwiſchen dieſen Rändern ebenſo wie das Hervorbringen verdichteter Luft gehindert wird (vergl. S. 199) und ſo das Entweichen des Dampfes nicht in hinreichendem Maaße ſtatt findet. Aber da ſo oft das Zerſpringen des Keſſels durch eine plötzlich vermehrte Dampfentwickelung bewirkt zu werden ſcheint, indem das Zerſpringen zuweilen eingetreten iſt, gleich nachdem das Sicherheitsventil ſich wirklich geöffnet hatte, ſo ſieht man, daß dieſes für ſolche Fälle nicht ausreicht. Man hat daher, und dieſes hat namentlich Perkins bei ſeinen Maſchinen angewandt, einen Theil der Röhren (XI. Fig. 30 bei M) viel ſchwächer, als alle übrigen dem Drucke des Dampfes ausgeſetzten Wände gemacht und dieſem ſchwachen Theile eine ſolche Stellung gegeben, daß die Röhre hier, indem ſie zerſprengt wird, keine Nachtheile hervorbringen kann. Je größer der ſo dem Dampfe geöffnete Ausgang iſt, deſto mehr Sicherheit gewähren gewiß dieſe Sicherungsröhren. Indeß bleibt doch, wie mir ſcheint, auch hier noch die Bedenklichkeit übrig, ob für eine plötzliche, beinahe vollkommen explodirende Entwickelung von Dampf dieſes Mittel ausreiche, und ob nicht der durch den Wechſel der Temperatur zum Zerſpringen vorbereitete Keſſel, ſeiner größern Stärke ungeachtet, in eben dem Augenblicke platzen kann, wo jene Röhre zerſtört wird.

Das wirkſamſte Mittel gegen das Zerſpringen des Keſſels ſcheint daher ein ſolches zu ſeyn, was die zu große Erhitzung des Keſſels unmöglich macht. Waſſerdämpfe können, das dürfen wir doch wohl mit aller Sicherheit behaupten, niemals eine Elaſticität von 40 Atmoſphären erreichen, wenn ſie nicht bis über 250° C. erhitzt ſind; dieſe Hitze muß alſo kein Theil der Oberfläche des Keſſels erreichen, wenn man ſicher ſeyn will, auch keine Dämpfe von ſo großer Elaſticität zu haben. Hiezu hat nun von Reichenbach ein Mittel, das ſpäter

bewirke, daß nämlich die Aenderung der Elaſticität des Dampfes, als nur auf den Theil der Wände oberhalb des Waſſers wirkend, ein Heraus- und Hereinbeugen der Wand hervorbringe, deſſen Grenze die Niveaulinie des Waſſers iſt. Hiegegen ſcheint mir die Erinnerung ſtatt zu finden, daß der unter dem Waſſer liegende Theil der Wand, wegen des durch das Waſſer nach allen Seiten fortgepflanzten Druckes, genau eben den Druck leidet, wie der obere Theil, weshalb denn dieſes Heraus- und Hereinbeugen, wobei die von der Waſſerfläche bezeichnete Linie ruhend bleibt, mir nicht ſtatt zu finden ſcheint.

auch Arago empfohlen hat, vorgeſchlagen und angewandt, nämlich die Anbringung leicht ſchmelzbarer Metalle. Wenn man ſich in dem Deckel des Keſſels eine nicht zu kleine Oeffnung mit einem Metalle, das bei 250° Cent. ſchmilzt, geſchloſſen denkt, ſo kann der Dampf niemals eine Elaſticität von 40 Atmoſphären erreichen, weil ein ſolcher Dampf doch nur da entſtehen kann, wo er jene Wärme findet. Dieſe leicht ſchmelzbaren Stellen müſſen da liegen, wo eine unmäßige Erhitzung am eheſten zu vermuthen iſt, und da die Erhitzung gewiß immer in allmälig ſteigenden Graden zunimmt, ſo iſt wohl nicht zu fürchten, daß dieſe Schmelzung zu viel Zeit fordern könnte. Daß man die auf dieſe Weiſe abſichtlich geſchwächten Stellen ſo anbringen müſſe, daß ihr Aufbrechen keinen Nachtheil bringe, verſteht ſich von ſelbſt. Die Sicherung ſcheint durch dieſe Anwendung leicht ſchmelzbarer Metallmiſchungen vollkommen erreicht zu werden; aber ſie haben zu dem Einwurfe Anlaß gegeben, daß ſie ſchon bei geringerer Wärme etwas erweicht werden und daher früher nachgeben, als es der Zweck der Maſchine fordert. Nach Arago's Bemerkung vermeidet man dieſen Nachtheil, wenn man ſie mit einem engmaſchigen Gewebe von unſchmelzbarem Metalle bedeckt; dieſes geſtattet dem noch ungeſchmolzenen Metalle kein Nachgeben gegen den Druck des Dampfes, hindert aber das Hervordringen der Dämpfe nicht, ſobald das Metall ſchmilzt; und ſo läßt ſich hoffen, daß durch dieſes allemal zeitig genug eintretende Oeffnen eines Ventiles, ehe noch der Druck ſo unmäßig wird und lange ehe die Glühhitze eintritt, alle Gefahren ſo ſicher, als es bei menſchlichen Werken überhaupt möglich iſt, abgewendet werden können.

Sechsundfünfzigſte Vorleſung.

Ausdünſtung und Regen.

Noch eine ſehr reichhaltige Anwendung der Lehre von den Dämpfen bietet uns die Meteorologie dar. So wie überhaupt die Wärme die wichtigſte Urſache der Aenderungen iſt, die wir im Luftkreiſe wahrnehmen, ſo ſind es insbeſondre die entſtehenden und ſich verdichtenden, im entgegengeſetzten Falle aber die verminderten oder durchſichtig gewordenen Dämpfe, von welchen einerſeits Nebel, Wolken, Thau und Regen, anderſeits heitere Luft und Trockenheit abhängen.

Daß die Ausdünſtung des einen großen Theil der Erde bedeckenden Waſſers unaufhörlich die Luft mit Feuchtigkeit erfüllt, daß durch eben dieſe Ausdünſtung der größere Theil des im Regen herabfallenden Waſſers ſehr bald wieder in die Luft zurückkehrt, während nur ein kleinerer Theil durch die Flüſſe dem Meere zuſtrömt, und daß ſo ein unaufhörlicher Kreislauf der ſich in Dämpfen erhebenden und in Regen oder Thau wieder herabfallenden Waſſertheile ſtatt

findet, iſt bekannt genug. Da ſo unermeßliche Waſſermengen durch die Ströme in das Meer geführt werden und dennoch das Meer nicht höher ſteigt, da dieſer ganze Proceß der Entſtehung von Regen und der Herſtellung des heitern Wetters ſeit Jahrtauſenden gleichmäßig fortdauert, ſo folgt von ſelbſt, daß das Meer nicht ſo viel, als es ausdünſtet, an Regen empfangen, und daß das feſte Land im Ganzen mehr Regen als Ausdünſtung haben muß. Beobachtungen über dieſes Verhältniß anzuſtellen iſt kaum möglich, weil die Ausdünſtung, die wir in Gefäßen mit Waſſer beobachten, keine genaue Vorſtellung von derjenigen Ausdünſtung giebt, die über Wieſen und Wäldern, über trockenen Haiden und Sümpfen, über Bergen und Thälern ſtatt findet; indeß iſt doch dieſe Beobachtung, um wieviel die Oberfläche eines der Luft ausgeſetzten Waſſergefäßes ſich täglich ſenkt, die einzige, welche wir bequem anzuſtellen vermögen, und ich theile Ihnen daher einige Beſtimmungen darüber mit. Nach Starke's Beobachtungen in Augsburg geht die Verdunſtung an einem Tage bei großer Hitze bis auf 6 Linien und im ganzen Jahre auf mehr als 60 Zoll; offenbar aber iſt da die Ausdünſtung viel ſtärker als auf der ganzen Oberfläche des Bodens. Dalton giebt in Mancheſter die Ausdünſtung des wärmſten Monates höchſtens zu $7^2/_3$ Zoll, des ganzen Jahres zu 44 Zoll an, bemerkt aber, daß man die Ausdünſtung eines mit Gras bewachſenen Bodens nur zu 23 Zoll jährlich rechnen könne, wogegen in Mancheſter jährlich 34—35 Zoll Regen fallen.

Je mehr man zu den Gebirgen hinauf geht, deſto mehr nimmt das Uebergewicht des Regens zu, wie es auch der Fall ſeyn muß, da täglich ſo erhebliche Waſſermengen in den Bächen herabſtrömen. Dieſer Unterſchied mag ſehr ungleich ſeyn, aber Thomſon bemerkt, daß in Glasgow die jährliche Regenmenge 23 Zoll, an einem nur 466 Fuß höher im Gebirge liegenden Orte Corbeth dagegen 42 Zoll beträgt, und Schübler hat in Tübingen 26 Zoll, in Göbingen auf der Alp, nur $1^3/_4$ Meilen von Tübingen, aber 1400 Fuß höher, beinahe 38 Zoll Regen im Jahre gefunden. Jede Gegend hat hierin ihr Eigenthümliches, z. B. die ſüdliche Küſte von England, die den Regen bringenden Winden ausgeſetzt iſt, hat mehr Regen als die öſtlicheren Theile der Inſel, Plymouth 42 Zoll, während um London nur 20 bis 25 Zoll fallen. Dieſe Zahlen beziehen ſich auf die mittlere Regenmenge in einer längern Reihe von Jahren; in einzelnen Jahren iſt die Regenmenge ziemlich ungleich, ſo daß z. B. Flaugergues aus fünfzigjährigen Beobachtungen in Viviers $20^1/_2$ Zoll als die kleinſte, 48 Zoll als die größte Regenmenge angiebt. Die heftigſten Regen, die wir zu ſehen gewohnt ſind, betragen in ebenen Gegenden in unſerm Klima ſelten einen Zoll, indeß kommen als Ausnahme doch auch bedeutend größere Regenmengen vor; ſo führt z. B. Flaugergues einen Tag an, wo in 18 Stunden ſo viel Regen fiel, daß das Waſſer für jeden Punkt der Oberfläche 13 Zoll betrug, in Genua hat es einmal 30 Zoll in einem Tage geregnet, und die Gebirgsgegenden, vorzüglich in Ungarn, werden öfter von ſolchen Wolkenbrüchen, die dann einen

zerſtörenden Sturz der Bergwaſſer zur Folge haben, heimgeſucht. In den tropiſchen Gegenden ſind Regen, die 8 oder 9 Zoll in einem Tage betragen, gar nicht ſelten, und in Cayenne hat es einmal in 24 Tagen 151 Zoll geregnet.

Die Ausdünſtung dauert, wenn die Luft nicht ſehr feucht iſt, ſelbſt bei großer Kälte fort und ſelbſt das Eis nimmt durch Ausdünſtung ab, ſo wie wir denn ja auch alle wiſſen, daß gefrorne Wäſche trocken wird, ohne vorher aufzuthauen. Schübler hat ſich von der Ausdünſtung des Eiſes durch viele Verſuche überzeugt, und gefunden, daß ſelbſt bei — 9 Gr. Temperatur beinahe ¼ Lin. von dem in einem Cylinder gefrornen Waſſer unter günſtigen Umſtänden, das heißt bei trockner Luft und ſtarkem Winde, in einem Tage verloren gehen kann. Indeß hat man die Frage aufgeworfen, ob ſelbſt die niedrigſte Temperatur immer noch fähig bleibe, die Verdampfung zu unterhalten. Wollaſton's Bemerkung, daß in den höchſten Gegenden der Atmoſphäre die Elaſticität der Luft ſo ſchwach werden müſſe, daß ſie die der Schwere wegen herabſtrebenden Lufttheilchen nicht mehr hinaufzudrängen vermöge, veranlaßte Faraday zu der richtigen Bemerkung, daß es aus ähnlichen Gründen auch eine Grenze der Verdampfung geben müſſe. Sehen wir nämlich die Verdampfung als dadurch hervorgebracht an, daß die Wärme, vermöge der durch ſie ertheilten elaſtiſchen Kraft, ein Waſſertheilchen nach dem andern losreißt, ſo muß bei ſehr geringer Wärme dieſe elaſtiſche Kraft endlich ſo klein werden, daß ſie das Losreißen nicht mehr bewirken kann, und dann hört alle Verdampfung auf. Faraday glaubt bei dem Queckſilber eine ſolche Grenze gefunden zu haben, indem Queckſilber in einem verſchloſſenen Gefäße auf ein etwas entfernt von ſeiner Oberfläche angebrachtes Goldblättchen bei ſehr kalter Luft gar keine Einwirkung zeigt, obgleich dieſelbe bei 10 bis 20° Wärme unverkennbar iſt.

Hygrometer.

Doch ich darf Sie nicht zu lange mit dieſer allgemeinen Betrachtung unterhalten und gehe daher zu der Frage über, welche Mittel wir beſitzen, den Grad der Feuchtigkeit der Luft und die Menge der Waſſerdämpfe in der Luft zu beſtimmen. Um dieſe Mittel richtig zu beurtheilen, muß ich Sie zuerſt auf den Satz aufmerkſam machen, daß die Luft nicht immer dann am feuchteſten ſcheint, wenn ſie viele Dämpfe enthält, ſondern dann, wenn ſie nicht fähig iſt, noch Dämpfe aufzunehmen. Dieſer Satz kann Ihnen wohl nicht parador ſcheinen, da Sie wiſſen, wie ſehr die Menge Waſſers, die in Dämpfen in einem gewiſſen Raume enthalten ſeyn kann, von der Wärme abhängt, und wie deshalb eine ſehr erwärmte Luft, obgleich ſie ſchon viel Waſſer in Dampfform enthält, dennoch fähig ſeyn kann, das tropfbare Waſſer noch zum Verdunſten zu bringen, während kältere Luft, wenn ſie auch nicht ſo viel Dampf enthielte, kein Waſſer mehr aufnehmen würde. Wenn man ziemlich trockene Luft an einem ſehr erwärmten Orte in ein Gefäß einſchließt, ſo wird ſie trocken erſcheinen, ſo lange ſie warm bleibt, bringt man ſie aber in einen

kalten Raum, ſo belegen ſich die innern Wände des Gefäßes mit einem Thau, weil die durch die Wände entweichende Wärme das Waſſer, mit welchem ſie ſich zu durchſichtigem, elaſtiſchem Waſſerdampfe verbunden hatte, an den Wänden zurückläßt. Aus eben dem Grunde beſchlagen unſere kalten Fenſterſcheiben im Winter mit Thau, obgleich die Luft in der Mitte des geheizten Zimmers eher zu trocken iſt, und im Sommer ſehen wir, ſelbſt wenn die Luft ſich gar nicht als feucht zeigt, an einem Glaſe mit Eis das aus den Dämpfen in der Luft niedergeſchlagene Waſſer herunterfließen. Alle dieſe Erſcheinungen zeigen uns, daß Feuchtigkeit in der Luft ſelbſt dann vorhanden iſt, wenn die fühlbare Feuchtigkeit der Wärme wegen unbedeutend ſcheint.

Um indeß zuerſt nur Inſtrumente zu haben, welche uns die fühlbare Feuchtigkeit kenntlich machen, ohne ihr Maaß zu beſtimmen, iſt man ſeit langer Zeit auf diejenigen Körper aufmerkſam geweſen, welche eine Veränderung durch feuchte Luft leiden, und hat geſucht, ſie als Hygrometer oder vielmehr Hygroſcope, als Anzeiger der Feuchtigkeit, zu gebrauchen. Ich will unter dieſen die unvollkommenſten zuerſt nennen. Einige Salze zerfließen in einer etwas feuchten Luft, andre nehmen wenigſtens etwas Waſſer auf und dadurch vergrößert ſich ihr Gewicht; eine eben ſolche Zunahme des Gewichtes bei feuchter Luft bemerkt man an einigen Thonarten. Man hat daher ſolche Körper, namentlich auch Kochſalz, als Hygrometer empfohlen, indem bis zum Zerfallen ausgetrocknetes Kochſalz, in die Schale einer feinen Waage gelegt und der freien Luft ausgeſetzt, allmälig ſchwerer wird; die Gewichtszunahme iſt bei feuchtem Wetter am ſchnellſten und größten. Sie überſehen leicht, daß dieſe Beſtimmung der Feuchtigkeit an ſich keine große Genauigkeit geſtattet, und daß wegen der längeren Zeit, die allemal vergehen muß, ehe das Salz die angemeſſene Menge von Waſſer aufnimmt, ſchnelle Aenderungen der Feuchtigkeit in der Luft gar nicht beobachtet werden können. Indeß können dieſe Mittel dienen, um z. B. zu prüfen, in welchem Grade feucht ein dumpfes Zimmer oder ein Keller iſt, und bekanntlich kommt es oft genug vor, daß ein mit ſalzigem Waſſer durchzogenes Holz an einem feuchten Orte nie trocknet.

Einen bedeutenden Vorzug vor dieſen Hygrometern haben diejenigen, die von der Aenderung der Geſtalt der Körper abhängen. Es iſt bekannt, daß gedrehte Seile ſich durch Feuchtigkeit verkürzen, daß dadurch eine aufwickelnde Drehung entſteht, und hierauf allein hat man ſchon Anordnungen von ſehr unvollkommenen Hygrometern gegründet. Eben darauf gegründet, aber auch ziemlich ebenſo unvollkommen ſind die Hygrometer, die aus einer unten mit einer thieriſchen Haut geſchloſſenen und mit Queckſilber gefüllten Glasröhre beſtehen; zieht ſich bei veränderter Trockenheit der Luft dieſe Haut zuſammen, verkleinert ſich alſo der von derſelben gebildete, das Queckſilber faſſende kleine Sack, ſo ſteigt das Queckſilber in der Röhre. Dieſe Hygrometer werden mit der Zeit unempfindlicher, und es iſt auch kaum möglich, ſie ſo übereinſtimmend zu machen, daß die Grade zweier Hygrometer als gleichen Feuchtigkeiten entſprechend angeſehen werden können.

Etwas tauglicher ſind die Federkiel- und Elfenbeinhygrometer. Aus der Beſchreibung der letztern, die Leslie da anzuwenden empfiehlt, wo andre Hygrometer ſich nicht gut anwenden laſſen, z. B. um die Feuchtigkeit im Innern eines Kornhaufens zu unterſuchen, wird ſich auch die Einrichtung der erſtern, bei welchen ein dazu beſonders präparirter Federkiel gebraucht wird, überſehen laſſen. Man drechſelt (XII. Fig. 1) aus recht fein geadertem Elfenbein einen eiförmigen Körper A, etwa $^{5}/_{4}$ Zoll lang, aber von ſo dünnen Wänden, daß er nur 8 bis 10 Gran wiegt und doch 300 Gran Queckſilber faßt; an dem obern Ende wird mit einer feinen Schraube ein etwas dickeres Stück B eingeſetzt, in welchem eine Glasröhre BC befeſtigt iſt; dieſes ganze Inſtrument (das dann ungefähr einem Thermometer mit einer Elfenbeinkugel ähnlich ſieht) ſetzt man eine Zeit lang in reines Waſſer, damit das Elfenbein diejenige Ausdehnung, welche der größten Feuchtigkeit entſpricht, annehme, und füllt dann das Gefäß und die Röhre bis zu einem niedrigen Punkte der Röhre mit Queckſilber. Wird nun die Röhre in Theile getheilt, deren jeder einem Tauſendtel des ganzen Queckſilbervolumens entſpricht, ſo dient die Höhe des Queckſilbers als Angabe der Feuchtigkeit, indem die trockener werdende Elfenbeinmaſſe ſich zuſammenzieht und das Queckſilber zum Steigen bringt. Iſt die Röhre oben gegen das Eindringen von Staub und fremden Körpern, jedoch nicht luftdicht, geſchloſſen, ſo kann man dieſes Hygrometer ſelbſt mitten in einen Kornhaufen, zwiſchen Papierballen u. ſ. w. bringen, und nach Verlauf einer oder mehrerer Stunden zeigt das Hygrometer den Grad der Feuchtigkeit an. Leslie bemerkt, daß die großen Aenderungen, die man an dieſen Hygrometern von Elfenbein und noch mehr am Buchsbaumholze bei ſtarker Feuchtigkeit bemerkt, den Grund deutlich machen, warum ausgelegte Holzarbeit bei dem Wechſel zwiſchen großer Feuchtigkeit und mäßiger Trockenheit ſo ſehr leidet.

Die Unvollkommenheit dieſer Hygrometer beſteht vorzüglich in der Langſamkeit, mit welcher ſie den der Feuchtigkeit der Luft angemeſſenen Zuſtand annehmen, und in der Ungleichartigkeit der angewandten Materien ſelbſt; aber die Eigenſchaft der feſten Körper, ſich durch Feuchtigkeit und Trockenheit zu vergrößern oder zu verkleinern, hat auch zu den vollkommnern Hygrometern von Sauſſure und Deluc geführt. Die Fibern der thieriſchen Körper und der Pflanzen dehnen ſich da, wo ſie durch ein feines Gewebe verbunden ſind, vorzüglich der Breite nach aus, wenn ſie feucht werden, wie man dieß an breiten Holzſtücken beſonders da ſieht, wo ſie an ein Holz, deſſen Faſern ſenkrecht auf die Faſern jener liegen, ſo befeſtigt ſind, daß die Ausdehnung nicht gehindert wird. Aus dieſem Grunde verkürzen ſich gedrehte Seile, weil die Ausdehnung nach der Breite hier die bedeutendſte iſt. Papier dehnt ſich, ſeines gleichmäßigen Gewebes wegen, nach allen Seiten aus. Auf dieſe ſtarke Ausdehnung nach der Breite gründet ſich Deluc's Fiſchbeinhygrometer, das aus einem ſchmalen Fiſchbeinſtreifen beſteht, der aus einem durch Runddrechſeln erhaltenen breiten und ſehr dünnen Fiſchbein quer über die Faſern geſchnitten wird. Wenn dieſe Fiſchbeinſtreifen ſehr dünn und ſchmal bei bedeutender Länge

ſind, ſo dehnen ſie ſich bei zunehmender Feuchtigkeit hinreichend aus, verkürzen ſich aber, wenn die Luft trockener wird, und zwar in ſehr kurzer Zeit. Ebenſo verhält es ſich mit dem von Sauſſure angegebenen Haarhygrometer, welches aus einem durch Auslaugen dazu beſonders bereiteten Menſchenhaare beſteht, deſſen Verlängerung ein Zunehmen der Feuchtigkeit anzeigt. Der Streit zwiſchen Sauſſure und Deluc über die Vorzüge des einen oder des andern Hygrometers iſt jetzt beinahe vergeſſen, und ungeachtet der Vorwürfe, die Deluc dem Haarhygrometer machte, hat dieſes dennoch ſich mehr im Gebrauche erhalten, als das Fiſchbeinhygrometer, weil die quer über die Faſern geſchnittenen Fiſchbeinſtreifen ſo ungemein fein ſeyn müſſen [1] und ſtärkere Streifen viel zu unempfindlich für kleine Aenderungen der Feuchtigkeit der Luft ſind. Die Einrichtung beider Hygrometer iſt faſt dieſelbe. Das Haar wird (XII. Fig. 2) oben bei L mit ſeinem einen Ende in einer feinen Zwinge befeſtigt, das andre Ende iſt an dem äußern Umfange einer runden Axe d ſo befeſtigt, daß noch ein Theil des Haares um die Axe gewickelt iſt. Verkürzt ſich nun das Haar durch Trockenheit, ſo dreht ſich die Axe d und der mit ihr feſt verbundene Zeiger df, der auf dem Gradbogen die Aenderungen der Länge ſtark vergrößert angiebt; damit aber bei der Verlängerung des Haares dL durch vermehrte Feuchtigkeit nicht das Haar ſchlaff bleibe, dient der Zeiger df ſelbſt zu einem das Haar immer ſpannenden, zwar geringen, doch hiezu hinreichenden, Gegengewichte. Statt alſo daß die größere Trockenheit durch Verkürzung des Haares, bei gleicher Elaſticität deſſelben, den Zeiger zu den niedrigern Feuchtigkeitsgraden, von 80 auf 70 u. ſ. w. fortführt, nöthigt das Gewicht des Zeigers das länger gewordene Haar, ſich mehr aufzuwickeln und immer geſpannt zu bleiben.

Damit aber dieſe Inſtrumente den Namen Hygrometer als wirkliche Feuchtigkeitsmeſſer verdienen, war es vor allem nöthig, ſo wie beim Thermometer, zwei feſte Punkte zu beſtimmen, und hier kann man der Forderung, die Punkte der größten Feuchtigkeit und der größten Trockenheit als Endpunkte der Scale anzugeben, beinahe ſtreng Genüge leiſten. Der ungelöſchte und der ſalzſaure Kalk haben ein ſo großes Beſtreben, die Dämpfe aus der Luft an ſich zu ziehen, daß ſie, erhitzt in ein geſchloſſenes Gefäß gebracht, die Luft vollkommen austrocknen, wenigſtens in dem Grade vollkommen, daß ſelbſt bei ſtarker Abkühlung, wo doch ſonſt die noch übrige Feuchtigkeit am meiſten auf die hygrometriſchen Körper wirkt, das Haar des in dieſem Raume mit eingeſchloſſenen Hygrometers keine Aenderung mehr zeigt. Den Punkt, den alsdann der Zeiger angiebt, bezeichnet man mit Null. Um dagegen die größte Feuchtigkeit zu beſtimmen, brachte Sauſſure feuchte Gegenſtände unter die Glocke, wo ſich das Hygrometer befand, ſo daß die Luft ſich ganz mit Feuchtigkeit ſättigen konnte, und ſetzte an den alsdann angezeigten Punkt des Hygrometers 100 Gr.

[1] Deluc ſagt, er habe Fiſchbeinſtreifen von 1 Fuß Länge und nur ¼ Gran ſchwer gehabt, die ein Gewicht von ⅓ Unze trugen und ſich von der größten Trockenheit bis zur größten Feuchtigkeit um mehr als 1 Zoll ausdehnten.

Den zwiſchen dieſen beiden Punkten enthaltenen Bogen theilt man in 100 Grade, und hat ſo ein nach beſtimmten Geſetzen verfertigtes, alſo mit andern ebenſo verfertigten Inſtrumenten gut vergleichbares Hygrometer. Aber dieſes Hygrometer giebt nicht Grade der Feuchtigkeit in dem Sinne an, daß man die Menge des in der Luft enthaltenen Waſſers ſogleich aus der Anzahl der Grade kennen lernte, ſondern die jedem Grade entſprechende wahre Feuchtigkeit muß erſt durch eine Reihe Verſuche beſtimmt werden.

Die Forderung, die Menge Waſſer in der Luft bei jedem Hygrometergrade zu kennen, läßt ſich offenbar nicht anders als mit beſtändiger Rückſicht auf die Wärme erfüllen. Wenn in einem feſt verſchloſſenen Gefäße, worin ſich kein befeuchteter Körper befindet, worin alſo kein neuer Dampf zu dem ſchon vorhandenen hinzukommt, ein Hygrometer und ein Thermometer aufgeſtellt ſind, ſo geht das Hygrometer auf Feuchtigkeit zu, wenn das Thermometer ſinkt, und man kann alſo für die hier ſtatt findende Waſſermenge ein Täfelchen der jedem Wärmegrade entſprechenden Angaben der Feuchtigkeit verfertigen. Stellt man dieſen Verſuch ſo an, daß man in ein Gefäß von beſtimmter Größe zuerſt völlig ausgetrocknete Luft und dann eine beſtimmte Menge Waſſer, die ſich ganz in Dampf verwandelt, gebracht hat, ſo erhält man genauen Aufſchluß über die Sprache des Hygrometers. Nach Sauſſure's auf dieſe Weiſe angeſtellten Verſuchen dürfte man ungefähr annehmen, daß bei dem höchſten Grade des Hygrometers im Cubikfuß Luft 17 Gran Waſſer ſind, wenn das Thermometer auf 25° R. ſteht, und nur 6 Gran, wenn das Thermometer 0° zeigt, daß dagegen 80 Graden des Hygrometers 12¼ Gran bei jener, 4¼ Gran bei dieſer Wärme entſprechen; aber dieſe Beſtimmungen Sauſſure's ſind nicht völlig genau, weil ſeine Meſſung des in der Luft verdunſteten Waſſers unvollkommen war.

Gay-Luſſac hat die Vergleichungen ſo angeſtellt, daß er das Hygrometer in einem eingeſchloſſenen Raume beobachtete, wo die Elaſticität des Dampfes durch andre Mittel bekannt war. Befindet ſich nämlich bei beſtimmter Wärme in einem eingeſchloſſenen Raume Waſſer, ſo erlangt der Dampf die dieſer Wärme angemeſſene Elaſticität und Dichtigkeit; bringt man Waſſer mit Schwefelſäure gemiſcht in denſelben Raum, ſo erlangen die Dämpfe eine geringere Elaſticität, und wenn man dieſe Elaſticität kennt und dabei den Stand des Hygrometers beobachtet, ſo ergiebt ſich eine Tafel zur Beſtimmung der jedem Grade zugehörenden Elaſticität und Dichtigkeit der Dämpfe. Nach dieſen Beſtimmungen enthält die Luft bei 88° des Haarhygrometers drei Viertel der Dämpfe, die ſie bei 100° enthält, bei 80° ungefähr drei Fünftel, bei 73° die Hälfte, bei 64° nur zwei Fünftel der mit 100° zuſammengehörenden Dampfmenge. Wenn alſo bei einer Wärme von 18° ungefähr 7 Gran Waſſer in der Luft ſind bei dem größten Feuchtigkeitszuſtande oder bei 100 Hygrometergraden, ſo würden bei eben der Wärme und einem Hygrometerſtande von 73° nur 3½ Gran Dampf in der Luft ſeyn.

Beſtimmung der Feuchtigkeit der Luft durch die Verdunſtungskälte, und durch den Condenſationspunkt der Dämpfe.

Ein ganz andres Verfahren, um die Feuchtigkeit der Luft zu beſtimmen, hat Leslie angegeben, indem er das Differentialthermometer anwendet und die Verdunſtungskälte beſtimmt. Bedeckt man eine der beiden Kugeln des Differentialthermometers (XI. Fig. 3) mit dünnem Mouſſelin und befeuchtet dieſen, ſo wird der ſo bedeckten Kugel durch die Verdampfung Wärme entzogen, und die in der Röhre enthaltene Flüſſigkeit zeigt dieſen Wärmeunterſchied an. Je trockener die Luft iſt, deſto ſchneller geht die Verdampfung von ſtatten, und die entſtandene Kälte iſt deſto größer. Es kann vielleicht ſcheinen, als ob wegen des ſtets neuen Aufwandes von Wärme das Differentialthermometer immer mehr und mehr Kälte anzeigen ſollte; aber dieß findet darum nicht ſtatt, weil die umgebende Luft der abgekühlten Kugel Wärme zuführt, und dieß immer mehr, je größer der Unterſchied der Wärme geworden iſt, endlich alſo ſo viel, daß dadurch der Verluſt an Wärme erſetzt und ein weiteres Sinken der Temperatur gehindert wird. Je ſchneller das Verdampfen erfolgt, das heißt, je trockener die umgebende Luft iſt, deſto größer iſt die Temperatur-Differenz, weil die bei ſchneller Verdampfung ſo ſchnell eintretende und erneuerte Kälte nicht ſo bald durch die Wärme der umgebenden Luft erſetzt wird. Eines ähnlichen Verfahrens hatte ſich übrigens ſchon Hutton bedient, und Auguſt's Pſychrometer, wovon unten weiter die Rede ſeyn wird, beruht auf eben dieſer Wärmedifferenz.

Andere Erfolge dieſer Verdunſtungskälte will ich nachher angeben und jetzt ſogleich zu dem vollkommenſten Hygrometer übergehen, das auf der Beſtimmung des Condenſationspunktes der Dämpfe beruht. Schon vor längerer Zeit machte Dalton darauf aufmerkſam, daß man bei gleich warmer, aber ungleich feuchter Luft das Bethauen eines kalten Gefäßes bei ungleicher Kälte des Gefäßes wahrnehme; er ſchlug daher vor, durch allmälige Abkühlung des in einem Glaſe enthaltenen Waſſers, allenfalls durch beigemiſchtes Eis, die Temperatur zu finden, wo der erſte leichte Thau ſich aus der Luft an das Glas anlegt, und ſo den Bethauungspunkt (Thaupunkt) oder den Condenſationspunkt der Dämpfe, das iſt, den Wärmegrad, welchem dieſer entſpricht, zu beſtimmen. Dieſes Verfahren iſt etwas ſchwierig, aber der Gedanke iſt nicht allein richtig, ſondern er enthält auch das wahre Princip der Hygrometrie.

Sie wiſſen, daß ein im leeren Raume enthaltener Dampf, wenn Waſſer genug vorhanden iſt, bei beſtimmter Wärme, z. B. 10° Cent., eine gewiſſe Dichtigkeit und Elaſticität annimmt, die wir als die zu dieſer Wärme gehörige größte bezeichnet haben. Laſſen Sie dieſen Dampf ein Glasgefäß füllen, worin kein tropfbares Waſſer mehr iſt, ſo wird, ſo lange der Dampf erwärmt iſt, ſeine Durchſichtigkeit ungetrübt und das Gefäß unbethaut bleiben; aber wenn der Dampf unter jene urſprüngliche Wärme von 10° abgekühlt wird,

ſo belegt ſich das Gefäß mit einem feinen Thau, der bei ſtärkerer Abkühlung bedeutender wird, weil in dem Dampfe mehr Waſſer enthalten iſt, als bei einer Wärme von 9° oder einer noch geringeren ſich in Dampfgeſtalt erhalten kann. Eben dieß gilt auch von Dämpfen, die mit Luft gemiſcht ſind, dieſe mögen nun in einem Gefäße enthalten oder frei in der Atmoſphäre vorhanden ſeyn; kennen wir den Wärmegrad, bei welchem ſie ſich in ſehr geringem Grade niederzuſchlagen anfangen, ſo kennen wir zugleich ihre Dichtigkeit, weil ſie diejenige iſt, die wir als die größte eben der Wärme entſprechende aus Verſuchen kennen. Es wird am beſten ſeyn, dieß durch ein wirkliches Beiſpiel zu erläutern. Am 6. Sept. 1819, als die Wärme der Luft 18,°9 Cent. war, beobachtete Daniell den Bethauungspunkt bei 7,°8 Cent., das iſt, bis zu dieſer Temperatur abgekühlt zeigte eine glatte Oberfläche den erſten feinen Niederſchlag. Da nun nach Muncke's Tafel die größte Dichtigkeit des Dampfes bei 7,°8 Cent. (= 6,°2 R.) nur 7 Milliontel der Dichtigkeit des Waſſers beträgt und 1 Cubikfuß Waſſer 498000 Gran wiegt, ſo wog ein Cubikfuß jenes Dampfes 3½ Gran, in einem Cubikfuß Luft waren mithin 3½ Gran Waſſer. Die Luft war alſo ſchon recht trocken, weil der Condenſationspunkt 11 Grad unter der Temperatur der Luft lag und Luft von 18,°9 Wärme noch beinahe 4 Gran Waſſer in jedem Cubikfuß aufnehmen konnte, ehe ſie den höchſten Grad der Feuchtigkeit erreicht hätte. Dagegen war bei einer andern Beobachtung die Luft ebenſo warm, der Bethauungspunkt aber fand ſich bei 17,°8 Cent. = 14,°2 R., welcher Wärme ein Dampf = 14 Milliontel der Dichtigkeit des Waſſers entſpricht, ſo daß 7 Gran Waſſer in 1 Cubikfuß Luft enthalten waren und die Luft kaum noch ½ Gran aufzunehmen fähig, alſo beinahe auf dem höchſten Punkte der Feuchtigkeit war.

So lernen wir alſo genau die Menge Waſſers in der Luft kennen. Wenn bei großer Hitze von 28° R. oder 35° Cent. die Luft vollkommen feucht iſt, ſo daß das Bethauen bei der geringſten Abkühlung ſtatt findet, ſo enthält ein Cubikfuß Luft 19½ Gran Waſſer; wäre dagegen bei ſolcher Wärme die Luft ſo trocken, daß 7°,5 Cent. = 6° R. dem Bethauungspunkte entſpräche, ſo enthielte ein Cubikfuß nur 3½ Gran und wäre alſo fähig, noch 16 Gran Waſſer aufzunehmen, ſo daß das ſchnelle Ausdünſten des Waſſers zu ſolcher Zeit ſich ſehr wohl erklärt. Am ſchnellſten findet es ſtatt, wenn ein lebhafter Wind den entſtandenen Dampf, der das Entſtehen neuen Dampfes hindern würde, fortführt.

Die Schwierigkeit, den Condenſationspunkt der Dämpfe zu jeder Zeit zu beſtimmen, hat Daniell durch ſein Hygrometer ſehr bedeutend vermindert. Es beſteht (XII. Fig. 3) aus einer gekrümmten Glasröhre, an welcher ſich an beiden Enden angeblaſene Glaskugeln b, a von ¾ Zoll Durchmeſſer befinden. In der einen b iſt innerhalb der Kugel und Röhre ein Thermometer angebracht, dann iſt in dieſe Kugel Aether gethan und zum Kochen gebracht, um die Luft aus beiden Kugeln und der Röhre durch die Oeffnung f auszutreiben; wenn die Aetherdämpfe aus der bis dahin noch offen gelaſſenen Mündung f

ſtark ausſtrömen, wird dieſe Oeffnung an der Lampe zugeſchmolzen. Indem nun ſo der Raum in beiden Kugeln luftleer iſt, wird er offenbar immer mit einem, der jedesmaligen Temperatur angemeſſenen, Aetherdampfe von dem in der Kugel noch in hinreichender Menge übrigen Aether gefüllt ſeyn, und ſo lange beide Kugeln gleich auf dieſen Dampf einwirken, ſteht das innere Thermometer ſo hoch als das am Fuße des Inſtruments in freier Luft angebrachte Thermometer D. Sobald man aber die Kugel a f, die zu dieſem Zwecke mit Mouſſelin überzogen iſt, mit Aether betröpfelt, reißt der an der Oberfläche verdampfende Aether Wärme an ſich, bringt daher den innern Aetherdampf zum Niederſchlagen, und bewirkt ſo ein lebhafteres Verdampfen des Aethers in der Kugel b, wobei ſich dieſe Kugel ſehr erheblich abkühlt. Ihre Abkühlung erreicht, bei der Gewalt, mit welcher der auf a f verdampfende Aether die Wärme an ſich reißt, bald den Grad, wobei die Condenſation der Dämpfe in der freien Luft auf der Oberfläche der Kugel b ſtatt findet, und der Beobachter muß, ſobald er den leiſeſten Hauch von Niederſchlag auf der Kugel bemerkt, den Grad des im Innern enthaltenen Thermometers ableſen, indem dieſes dann die Wärme des Bethauungspunktes angiebt. Damit der leiſeſte Niederſchlag deutlicher ſichtbar ſey, iſt die Kugel b vergoldet, und man ſieht den Niederſchlag da am erſten, wo ſich die Oberfläche des Aethers im Innern der Kugel befindet.[1] Die Beobachtung dieſes Hygrometers iſt etwas ſchwierig, weil man den erſten Augenblick des leiſeſten Bethauens wahrnehmen und da den Stand des innen angebrachten Thermometers beobachten muß; dieſer erſte feine Niederſchlag iſt aber keineswegs ſo leicht wahrzunehmen, und man muß, da das Thermometer immer tiefer fällt, ſehr achtſam ſeyn, ihn richtig zu beobachten. Wenn die Befeuchtung mit Aether nur unvollkommen iſt, ſo ſinkt das Thermometer langſam, und man hat dann etwas mehr Zeit, um ſich von dem nach und nach merklicher werdenden Bethauen zu überzeugen, doch muß man bei wirklichem Gebrauche dieſes Hygrometers ſich gewöhnen, den erſten Anfang des Bethauens wahrzunehmen, und der vergoldeten Kugel eine ſolche Stellung gegen das Licht geben, daß die kleinſte Veränderung des Glanzes bemerkbar ſey. Wegen dieſer Schwierigkeit, den wahren Temperaturgrad, der mit dem erſten Anfange des Bethauens zuſammengehört, richtig zu beobachten, hat man mit Recht August's Pſychrometer (auch Thermohygrometer genannt) eine größere Aufmerkſamkeit geſchenkt, und unter allen bisher conſtruirten Hygrometern nimmt dieſes unſtreitig den erſten Rang ein. Es beſteht aus zwei gleichen ſehr empfindlichen Thermometern, deren eines eine Bedeckung hat, die man während der Beobachtung mit reinem Waſſer feucht erhält. Dieſes befeuchtete Thermometer zeigt die Verdunſtungskälte, indem das Waſſer an der Kugel deſſelben deſto ſchneller verdunſtet, je trockner die Luft iſt, und nach Auguſt's Erfahrungen und Schlüſſen liegt dieſe

[1] Nach der von Körner angegebenen einfachen Einrichtung beſteht dieſes Hygrometer (auch Schwefelätherhygrometer genannt) aus einer einzigen Thermometerkugel, die oben mit Mouſſelin umwickelt, an der untern Seite aber mit einem vergoldeten und polirten Blechſchälchen verbunden iſt, welches bethaut wird, wenn man die Mouſſelindecke mit Schwefeläther benetzt. (M.)

Verdunſtungskälte faſt genau in der Mitte zwiſchen der Wärme der freien Luft und dem Bethauungspunkte, ſo daß man den letzten aus der leichten Beobachtung jener beiden Thermometer findet. Auguſt giebt hiezu noch genauere Regeln, die ſich auf eine ſtrengere Vergleichung der durch die Dämpfe der Thermometerkugel entriſſenen und der ihr aus der Luft zugeführten Wärme gründen. Das Inſtrument muß übrigens einem hinreichenden Luftwechſel ausgeſetzt ſeyn, durch welchen die entſtehenden Dünſte ſchnell abgeführt werden.

Andre Anwendungen der Verdunſtungskälte.

Ein Verſuch, auf welchen Daniell's Hygrometer faſt unmittelbar führt, iſt derjenige, den Wollaſton angegeben und an ſeinem Cryophorus (Kälteträger) dargeſtellt hat. Zwei Kugeln, ebenſo wie bei jenem Hygrometer durch eine Glasröhre verbunden, die man hier etwas länger nimmt, um das Experiment auffallender zu machen, etwa 2—2½ F. lang, ſind luftleer gemacht und zum Theil mit Waſſer gefüllt. Man legt die eine in eine kaltmachende Miſchung aus Salz und Schnee, und ſieht nun die andre, der höhern Wärme der umgebenden Luft ungeachtet, ſich mit Reif, mit Dünſten, die ſich aus der Luft zu Eis niederſchlagen, überziehen und das darin enthaltene Waſſer gefrieren. In der ſehr abgekühlten Kugel nämlich verliert der Dampf ſeine Dampfform und in der andern erneuert ſich die Dampfbildung um ſo lebhafter, je mehr in der erſten der Dampf vernichtet wird; je kälter alſo jene Kugel iſt, deſto größer iſt in der andern der Wärmeaufwand zu neuer Dampfbildung, und ſo entſteht an der der wärmern Luft ausgeſetzten Kugel, die ſich in Folge dieſer lebhaften Dampfbildung ſtark abkühlt, gleichſam durch Uebertragung der Kälte, Reif. Es findet dabei im Innern der Kugeln eine deſto ſchnellere Deſtillation nach der mit einer Eismiſchung umgebenen Seite hinüber ſtatt, je kälter es dort iſt.

Auf dieſer Verdunſtungskälte beruhen mehrere Mittel, ſehr bedeutende Kältegrade hervorzubringen. Wenn man eine Thermometerkugel mit Baumwolle bedeckt und dieſe mit Aether beträpfelt, ſo kann man, vorzüglich wenn man durch einen auf die Kugel gerichteten Blaſebalg einen ſtarken Luftzug hervorbringt und durch dieſen die Verdunſtung des Aethers beſchleunigt, das Thermometer bis tief unter den Gefrierpunkt fallen machen. Eben darauf beruht das Gefrieren des Waſſers im luftleeren Raume, ſelbſt bei 20 Grad Wärme. Ich habe ſchon oft erwähnt, daß im luftleeren Raume die Ausdünſtung weit ſchneller ſtatt findet, eben darum iſt aber da auch die Verdunſtungskälte größer. Aber dieſe würde nur ſo lange zunehmen, als der luftleere Recipient noch nicht mit Dampf gefüllt iſt, und man muß daher, damit ſie beſtändig zunehme, den entſtandenen Dampf fortſchaffen; dieß geſchieht, wenn man waſſerfreie Schwefelſäure in dem Recipienten aufſtellt, weil dieſe die Eigenſchaft hat, den entſtandenen Dampf ſehr begierig aufzunehmen und daher die Füllung des Recipienten mit Dampf zu hindern. Indem ſo der luftleere Raum, theils durch ununterbrochenes Fortpumpen, theils durch die Hülfe

der Schwefelſäure, fähig bleibt, immer neuen Dampf aufzunehmen, gefriert das unter der Glocke der Luftpumpe der Verdunſtung ausgeſetzte Waſſer. Dieſer Verſuch iſt um ſo auffallender, da er, wenn die Luftpumpe ein bis auf 1 Linie gehendes Sinken der Barometerprobe geſtattet, ſelbſt bei 20 bis 22° Cent. Wärme der Luft gelingt, und da das Waſſer ſeine Dämpfe in völligem Aufkochen hergiebt, dann aber zu Eis wird. Ungefähr der achte Theil des Waſſers verdampft und das übrige gefriert, wie es der Theorie gemäß iſt. Man darf bei dieſem Verſuche nur ein Uhrglas voll Waſſer nehmen, weil größere Quantitäten den Verſuch allzu ſehr erſchweren würden; dieſes Waſſer muß man in einiger Entfernung oberhalb eines breiten Gefäßes mit Schwefelſäure aufſtellen und das Auspumpen raſch fortſetzen, damit nicht zu viel Wärme durch die Glaswände des Recipienten zuſtröme. Gut iſt es, dieſen zu benetzen und mit einem Blaſebalg dagegen zu blaſen, beſonders wenn die äußere Wärme erheblich iſt. Die Schwefelſäure wird bei dieſem Verſuche, wegen des ſich mit ihr durch die aufgenommenen Dämpfe miſchenden Waſſers, warm; aber obgleich dieß ein hindernder Umſtand iſt, ſo gelingt dennoch der Verſuch faſt unfehlbar, wenn nur die Luftpumpe gut iſt. Uebrigens genügt ſchon eine 100- oder ſelbſt 50fache Luftverdünnung. In Ermangelung einer guten Luftpumpe kann man über der Schwefelſäure einen naſſen Schwamm aufhängen, der in ſehr kurzer Zeit gänzlich erſtarren wird. Configliacchi und ſpäter Dove haben dieſen Verſuch, den man den Leslie'ſchen Verſuch genannt hat, ſo abgeändert, daß eine mit Queckſilber gefüllte Kugel, mit Flachs umwickelt und mit Schwefeläther befeuchtet, in den Recipienten gebracht wird; die unten aufgeſtellte Schwefelſäure nimmt auch die Aetherdämpfe auf und befördert die Verdunſtung des ohnehin ſchnell verdampfenden Aethers ſo, daß das Queckſilber in jener Kugel gefriert, ja daſſelbe geſchah auch ohne Schwefelſäure. Andere Flüſſigkeiten, wie Ammoniak, Salzäther, Salpeteräther, Alkohol, brachten keine zum Gefrieren des Queckſilbers hinreichende Kälte hervor, alle aber eine größere mit Schwefelſäure, als ohne dieſelbe, und zwar gab Alkohol in jenem Falle 37½, in dieſem nur 22½° Cent.

Die außerordentlich ſchnelle Verdampfung des Schwefelkohlenſtoffs macht dieſen Körper geſchickt, noch größere Kältegrade als die des Waſſers und Schwefeläthers hervorzubringen. Unter der Luftpumpe bringt er leicht (ſchon bei 110facher Verdünnung der Luft) das Queckſilber zum Gefrieren, und Marcet hat das Weingeiſtthermometer bis auf — 56½°, ja bis auf — 62° Cent. (45° bis 50° R.) fallen ſehen, ſelbſt wenn die Luft nur bis auf 1½ Lin. der Barometerprobe ausgepumpt war. Noch überraſchendere Wirkungen bringt die von Buſſy tropfbar-flüſſig dargeſtellte ſchwefelige Säure hervor, deren Siedepunkt bei — 10° Cent. liegt. Bringt man ein paar Tropfen Queckſilber mit dieſer Säure übergoſſen in einem Uhrglaſe unter die Glocke der Luftpumpe, ſo gefriert es augenblicklich; dabei muß jedoch die äußere Temperatur niedriger als — 10° Cent. ſeyn. Auch ohne Luftpumpe gefriert Queckſilber, wenn man dieſe Säure auf eine mit Baumwolle umwickelte Kugel tröpfelt und in

trockner, kalter Luft verdampfen läßt. — Weit überboten wurden jedoch alle bisher erzielten Wirkungen durch die Verdampfung der flüſſigen Kohlenſäure, welche zuerſt Thilorier dargeſtellt hat. Wird dieſelbe mit Alkohol oder Schwefeläther gemiſcht, ſo gefriert eine anſehnliche Quantität Queckſilber (bei einem Verſuche 50 Gramm oder etwa 3 Loth) in einem Strahl dieſer Miſchung in wenig Secunden. Ja die Verdampfung der reinen flüſſigen Kohlenſäure erzeugt eine Kälte, welche die Flüſſigkeit ſelbſt in einen ſchneeähnlichen feſten Körper verwandelt und nach wahrſcheinlicher Schätzung — 100° Cent. (80° R.) beträgt, vorausgeſetzt, daß die Verdampfung durch Wegnahme der Luft unter der Luftpumpe geſteigert wird; in freier Luft ging die erzeugte größte Kälte bis — 78° Cent. (62½° R.) und war demnach größer als die früher durch irgend ein Mittel hervorgebrachte.

Auf der Kälte, welche die Verdunſtung des Waſſers erzeugt, beruht unter Anderm die Abkühlung des Trinkwaſſers, welche man in Spanien durch die ſogenannten Alcarazzas bewirkt, worunter man poröſe thönerne Krüge verſteht, durch deren Wände das Waſſer dringt und an der Oberfläche verdunſtet, am ſtärkſten, wenn ſie einem heftigen Luftzuge ausgeſetzt werden. Auch die Seefahrer pflegen ihr Waſſer dadurch abzukühlen, daß ſie die Flaſchen mit naſſem Segeltuch umgeben und im Tauwerk aufhängen. — In einigen Gegenden Oſtindiens bedient man ſich der Leslie'ſchen Methode der Eisbereitung, wozu Luftpumpen dienen, die durch Dampfmaſchinen getrieben werden. Im Kleinen wird jene Methode von Phyſikern und Chemikern häufig angewandt, wenn ſie ſchnell kleinere Quantitäten Eis erzeugen wollen. — Auch wird das gedachte Verfahren, das Leslie ſelbſt für techniſche und ökonomiſche Zwecke zu benutzen beabſichtigte, zum Austrocknen und zum Eindicken von Säften benützt.

Siebenundfünfzigſte Vorleſung.

Die neulich angeſtellten Betrachtungen betrafen die in elaſtiſcher Form, als durchſichtige Dämpfe, in der Luft enthaltenen Waſſertheilchen; aber auch von ihrem Uebergange in den Zuſtand ſichtbarer Dünſte und tropfbaren Waſſers, von der Entſtehung der Nebel, der Wolken, des Regens und des Thaues muß ich noch etwas ſagen, da ein großer Theil der meteoriſchen Erſcheinungen hier ihre Erklärung findet.

Nebel und Wolken.

Wenn die Dämpfe warmen Waſſers in der kalten Luft aufſteigen, ſo zeigt ſich ein nebliger Dunſt, beſtehend aus ſehr kleinen Theilen niedergeſchlagenen Waſſers, weil der ſo dichte Dampf bei geringerer Wärme nicht mehr als elaſtiſcher Dampf beſtehen kann; in etwas größerer Entfernung von der

Dampfquelle wird er wieder unſichtbar, weil er, in einen größeren Raum ausgebreitet, aufs neue ſich in einen der niedrigen Temperatur angemeſſenen, weniger dichten, elaſtiſchen Dampf verwandelt. Ebenſo zeigt ſich uns der ausgehauchte Athem in kalter Luft. Ganz dieſelben Gründe bringen in einer Menge von Fällen ausgedehnte Nebel in der Atmoſphäre hervor. Dieſe müſſen nämlich in zwei Fällen nothwendig entſtehen: ſowohl wenn aus einer Dampfquelle Dämpfe in eine kältere Luft übergehen, als auch wenn eine mit Dämpfen erfüllte Luft an der Oberfläche eines kälteren Körpers abgekühlt wird. Das erſtere findet bei den Nebeln ſtatt, die wir oberhalb des Waſſers Abends nach Sonnenuntergang, oft auch die ganze Nacht durch, und im Winter bei plötzlich ſtarker Kälte ſich bilden ſehen. Die Erfahrung zeigt, daß nach heißen Sommertagen die Oberfläche des feſten Landes ſchneller erkaltet, als die Gewäſſer, und dieſes iſt auch in ſo fern leicht zu erklären, als im Waſſer die an der Oberfläche erkalteten Theilchen in die Tiefe hinabſinken, dagegen aber erwärmte Theilchen den Platz an der Oberfläche einnehmen. Indem nun die über dem feſten Boden abgekühlte Luft über die Oberfläche des Waſſers geführt wird, trifft ſie an dieſer einen geſättigten Dampf an, von der Dichtigkeit nämlich, welche der Wärme der Waſſeroberfläche entſpricht; dieſen kühlt ſie ab und bringt einen Nebel, niedergeſchlagene Waſſertheilchen, hervor. Dieſe Nebel über den Gewäſſern dauern ſo lange, als die Luft nahe über der Oberfläche des Waſſers merklich kälter als das Waſſer ſelbſt iſt. Daß an heitern Sommertagen Abends der ganze Lauf von Gräben und ſchmalen Flüſſen durch ſolche aufſteigende Nebel bezeichnet wird, iſt bekannt, und ebenſo rauchen die Gewäſſer bei plötzlich eintretender ſehr heftiger Kälte im Winter, weil das, in Vergleichung gegen die ſehr kalte Luft, nicht ſo kalte Waſſer Dämpfe entwickelt, die einer nicht ſo niedrigen Temperatur entſprechen.

Auf ähnliche Weiſe entſtehen in Wäldern und vorzüglich auf Bergen, wo die kältere Luft freieren Zutritt hat, die einzelnen Nebelwolken, die man, dem Rauche ähnlich, nach einem Regen, wenn die Luft noch feucht iſt, ſich erheben ſieht. Sie entſtehen oft ganz deutlich da, wo ein von Bäumen freier Platz durch die Sonnenſtrahlen erwärmt wird, wo alſo aus dem naſſen und erwärmten Graſe Dämpfe aufſteigen, die, ſobald ſie ſich in die kältere Luft erheben, als Dunſt ſichtbar werden. Auch die auf dem Meere beobachteten Nebel haben zum Theil dieſen Urſprung. Die von den Reiſenden oft erwähnten Nebel in der Gegend von Neufundland, wo der Golfſtrom Waſſer hinführt, das wärmer als die Luft iſt, haben ihren Grund gewiß in der Abkühlung, welche der wärmere Dampf in der Luft leidet. Dagegen ſcheinen die in allen Polargegenden ſo ſehr häufigen dichten Nebel umgekehrt in der bis zur Eiskälte abgekühlten Oberfläche des Meeres ihren Grund zu haben, die, wenn ein aus wärmeren Gegenden und mit wärmeren Dämpfen beladener Wind dorthin gelangt, eine Abkühlung der untern Luftſchichten und dadurch ein Entſtehen dicken Nebels bewirkt. Dieſe Nebel ruhen oft in einer kaum

100 Fuß hohen Schicht auf dem Meere, erhalten aber von der beſtändig neu zuſtrömenden, mit Dampf erfüllten Luft immer neue Nahrung. Die aus dieſen Nebeln ſich niederſchlagenden Waſſertheilchen bedecken die Eisberge im Meere mit Schichten von einem aus bloßem atmoſphäriſchen Waſſer entſtandenen Eiſe, welches daher gar kein Salz enthält.

In dieſer unter unſern Augen vorgehenden Nebelbildung zeigt ſich uns auch wo nicht der einzige, doch ein Hauptgrund der Wolkenbildung. So oft eine Miſchung zweier Luftmaſſen, die nicht allzu weit von dem Punkte größter Feuchtigkeit entfernt, aber an Wärme erheblich verſchieden ſind, ſtatt findet, ſchlägt ſich Dunſt nieder, und ſo oft Luftmaſſen, die ziemlich mit Feuchtigkeit beladen ſind, an einem kälteren Körper vorbei gehen, entſtehen Wolken. Das Letztere ſcheint der Grund zu ſeyn, warum Abends die Bergſpitzen ſich mit Wolken bedecken, die ſich allmälig tiefer herabſenken. Die Oberfläche des Berges nämlich kühlt ſich mehr ab als die in gleicher Höhe liegende Luftſchicht, und indem nun die ziemlich feuchten Luftſchichten durch die Oberfläche des Berges abgekühlt werden, bedeckt ſich der Berg mit einer Wolke. Eben das kann auch am Tage ſtatt finden, und da dann durch die Wolkenbedeckung dem Berge die Erwärmung der Sonne entzogen wird, ſo muß bei vermehrtem Wärmeunterſchiede die Wolkenbildung zunehmen. Bei dieſer iſt oft die in gleicher Höhe liegende Luftſchicht warm genug, um die Dämpfe wieder in elaſtiſcher Geſtalt aufzunehmen; man ſieht dann an der dem Winde ausgeſetzten Seite des Berges immer neue Wölkchen ſich an die große Wolke anlegen, dieſe vereinigen ſich an der Spitze des Berges mit der großen Wolke, und an der andern Seite trennen ſich abgeriſſene Wolkenflocken, die in der Luft zergehen; ſo erneuert ſich die Wolke unaufhörlich, während ſie, ihrer Größe nach unverändert, auf dem Berge zu ruhen ſcheint. Da dieſe Bedeckung der Berge mit Wolken nur ſtatt findet, wenn viele Feuchtigkeit in der Luft iſt, und viele Feuchtigkeit in der Luft gewöhnlich Regen ankündigt, ſo iſt der Grund, warum jene Wolken auf Bergen Regen bedeuten, leicht einzuſehen. Berge, die mit Schnee und Eis bedeckt ſind, müſſen vorzüglich leicht ſich ſo mit Wolken bedecken. [1]

Ganz aus denſelben Gründen erklärt ſich die oft ſo ſchnell eintretende und ſchnell wieder verſchwindende Bedeckung des Himmels mit einer dünnen Decke weißer Wolken. Bei veränderlichem Wetter bemerken wir oft, daß der Himmel vor wenigen Minuten noch blau war und nun auf einmal ganz mit dieſen leichten Wolken bedeckt iſt; oft nimmt die Verdichtung dieſer Wolken ſchnell zu und geht bis zum Hervorbringen des Regens; oft aber ſind auch die Wolken ebenſo geſchwind wieder verſchwunden als ſie entſtanden ſind. Dieſer ſchnelle Wechſel erklärt ſich am beſten aus einem in der höheren Luft ſtatt findenden kalten Luftſtrome, der in den oberen Luftſchichten nicht

[1] Das Tafeltuch auf dem Tafelberge am Vorgeb. d. g. Hoffn., ſ. Barrow's Reiſen im ſüdl. Afrika. Bd. I. S. 51. Die Bedeckung des Ararat mit Wolken, ſ. von Freygangs Reiſe nach dem Caucaſus. S. 252. Brandes Beitr. z. Meteorol. S. 342.

Waſſertheilchen genug findet, um Wolken zu bilden, aber wenn er ſich tiefer in die zu ſolcher Zeit gewöhnlich warmen und ſehr feuchten Luftſchichten herabſenkt, an der Grenze dieſer warmen Schicht Wolken niederſchlägt. Es läßt ſich leicht überſehen, daß dieſe Wolkenſchicht wieder verſchwinden wird, wenn jener kalte Luftſtrom in der niedrigen Gegend nicht dauernd genug iſt; aber ſo oft er wieder eintritt, wird ſich die Erſcheinung erneuern. In dieſem Falle iſt die Wolkenbildung ſehr veränderlich, wenn dieſe Luftſtrömungen es ſind, und ſehr zum Regen hinneigend, weil die Wolkendecke das Sonnenlicht ſchwächt und daher ſelbſt ein Grund der Abkühlung und verſtärkter Niederſchläge wird. Auf den Wechſel dieſer Wolken können gewiß ſehr kleine örtliche Umſtände bedeutend einwirken; ein von einer trockenen Gegend aufwärts gehender warmer Luftſtrom kann die Wolken zertheilen, ein von einem feuchten Orte hinaufwärts gehender warmer aber kann ſie mit neuen Waſſertheilen beladen. Dagegen wenn ſich die, oft viele Stunden unverändert bleibenden, Schäfchenwolken bilden, die nur eine ganz dünne Schicht weißer, gewöhnlich ſehr hoch ſtehender Wolken darſtellen, dann iſt es wahrſcheinlich ein wärmerer Luftſtrom, der ſich über der kälteren Luft hin ergießt. Aus jenem wärmeren Luftſtrome ſchlagen ſich an der Grenze der kalten Luft die kleinen Wolken nieder, und da die wärmere Luft oberhalb dieſer Wolken immer noch den Sonnenſtrahlen ausgeſetzt bleibt und die wärmeren Lufttheilchen auch kein Beſtreben haben, ſich herabzuſenken, ſo iſt es im engern Sinne nur allein die Trennungsſchicht beider Luftmaſſen, die ſich trübt, und in welcher nur ſo viel neue Nebeldünſte wieder hervorgehen, als durch Verdampfen an der Oberfläche in den durchſichtigen Zuſtand zurückkehren. Darum bedeuten dieſe Schäfchen im Frühling warmes Wetter, weil ſie einen bis in die Wolkenregion herabgehenden warmen Wind verrathen. Warum dieſe Wolken die ſo beſtimmten kugeligen Formen annehmen, zu andern Zeiten aber ſich in ſo lange, oft ſeltſam gewundene Fäden ausdehnen und dieſe Form ſo lange unverändert beibehalten, darüber ſind wir noch gar nicht recht belehrt. Die Vermuthung, daß dieſe glänzend weißen Wolken aus Schneenadeln, ſo klein, daß ſie wie Sonnenſtäubchen in der Luft ſchweben, beſtehen mögen, iſt ſehr wahrſcheinlich und wird beſonders durch die oft in dieſen glänzenden Wölkchen erſcheinenden Nebenſonnen beſtätigt. Dagegen ſcheinen zu andrer Zeit die feinen Wölkchen mehr zur Hervorbringung der kleinen Höfe um Sonne und Mond geeignet.

Auch die Erſcheinung der Wolken über Inſeln, ſo daß man ſchon aus der Ferne die Lage der letztern aus der Lage der Wolken ſchließen kann, gehört hieher. Da nämlich am Tage der Boden der Inſeln, am meiſten in heißen Gegenden, mehr als das Meer erhitzt wird, ſo bildet ſich hier ein warmer, offenbar aber auch mit Dämpfen beladener Luftſtrom, der oben, wo er ſich abkühlt, dieſe als Wolken niederſchlägt; über die Grenzen einer Inſel hinaus wird dieſer Niederſchlag ſich nicht erſtrecken, indem dahin die ſo ſehr erwärmte, mit Dämpfen beladene Luft nicht gelangt. Umgekehrt kann auch

dieſer heiße Luftſtrom eine völlige Wolkenloſigkeit hervorbringen, wenn er von trockenen Gegenden aufſteigt. Die africaniſchen Sandwüſten ſind bekanntlich ſo heiß und zugleich ſo dürr, daß für ſie aus Gründen, die früher angeführt ſind, in den untern Luftſchichten ein beſtändiges Herzuſtrömen der kalten Luft aus den benachbarten Gegenden, dagegen in den höhern Luftſchichten ein beſtändiges Abwärtsſtrömen nach den kalten Gegenden zu ſtatt finden muß. Die aus den kühlern und feuchten Gegenden über die heiße Wüſte geführte Luft enthält nicht Dämpfe genug, um in ſo großer Wärme den Dämpfen ihre größte Dichtigkeit zu geben, ſondern jene Waſſertheilchen, wenn ſie auch als Nebel und Wolken heran gezogen wären, gehen als durchſichtige Dämpfe aufwärts und werden in hohen Regionen wieder zu den Umgebungen, woher ſie kamen, zurückgeführt, ſo daß über der Wüſte, eben weil ſie trocken und heiß iſt, ſich nicht einmal Wolken bilden können, viel weniger Regen. In einigem Grade ähnlich geſchieht es bei uns in den mit kaltem Nordoſtwinde begleiteten heitern Frühlingstagen. Wenn dieſer kalte Wind in unſern Gegenden eine feuchte Luft findet, ſo wird er eine Urſache des Regen- oder Schneeniederſchlages; aber wenn er lange genug kalte Luft zugeführt hat, ſo daß wir nur die aus den nördlichen Gegenden kommende Luft allein zu berückſichtigen haben, ſo muß dieſe uns als trocken und austrocknend erſcheinen. Dieſe Luft kömmt aus ſehr kalten Gegenden und erwärmt ſich daher bei ihrem Fortgange nach Süden; wäre ſie dort — 3° geweſen, hier + 12° Cent. geworden, ſo wäre ſie in jedem Cubikfuß 3 Gran Waſſer aufzunehmen fähig, ſelbſt wenn ſie dort vollkommen feucht war; ſie erſcheint uns daher als ſehr austrocknend, und darauf beruht dieſe Wirkung des Frühlings-Oſtwindes, der nicht allein keine Wolken entſtehen läßt, ſondern auch die Erde ſchnell abtrocknet und in uns durch dieſe austrocknende Eigenſchaft das Gefühl größerer Kälte erregt, als der Stand des Thermometers zu rechtfertigen ſcheint.

Ich kehre zu der Wolkenbildung zurück, und knüpfe an das Vorige zunächſt die Betrachtung, daß da, wo die Nebelbildung raſch fortſchreitet, ein Entſtehen von Tropfen und Regen die natürliche Folge iſt. Dieſe Tropfenbildung ſcheint ſchon da einzutreten, wo der Fortgang der Wolkenmaſſen ein Hinderniß findet; daher regnet es bei Winden, die vom Meere herkommen oder überhaupt mit Dämpfen erfüllt ſind, am meiſten an den Bergen, gegen welche zu die Wolken getrieben werden. Dieſes iſt der Grund mancher periodiſcher Regen, die zum Beiſpiel auf der Halbinſel diesſeits des Ganges bei dem beſtändigen Südweſtwinde auf der einen Seite, bei dem beſtändigen Nordoſtwinde auf der andern Seite der Gebirge ſtatt finden. Indem ſo die Wolken ſich diesſeits der Gebirge ihres Waſſers entladen, bringen ſie an die andere Seite keinen Regen; aus denſelben Gründen iſt es klar, warum die ſüdweſtliche Küſte Englands ſo viel mehr Regen als das mittlere Land und die Oſtküſte hat, warum der heiße und feuchte italieniſche Sirocco anhaltende Regen bis nach dem ſüdlichen Deutſchland bringt, während das nördliche Deutſchland zu ſolchen Zeiten eines heitern Himmels genießen kann u. ſ. w.

So viele Erſcheinungen des Regens erklären ſich vollkommen leicht, und *Hutton's* Theorie des Regens, daß zwei ungleich warme Luftmaſſen, ſelbſt wenn ſie dem Sättigungszuſtande nicht ganz nahe ſind, bei der Miſchung allemal einen Niederſchlag geben, enthält allerdings eine für die meiſten Fälle ſehr genügende Auskunft. Sie wiſſen aus dem Vorigen, daß Luft von 8° Cent. $3\frac{1}{2}$ Gran, Luft von 18° Cent. 7 Gran Waſſer im Cubikfuß im Maximum enthält, aber wenn dieſe Luft bei der Miſchung 13° warm wird, ſo kann ſie nur 5 Gran enthalten und jede 2 Cubikfuß geben $\frac{1}{2}$ Gran Waſſer; bei größern Wärmeunterſchieden wird dieß noch viel erheblicher.[1] Aber ſo ſehr dieß geeignet iſt, die mäßigen Regen zu erklären, ſo kann ich doch einen Zweifel, ob eben dieſe Erklärung für die Gewitterregen, Platzregen und Wolkenbrüche ausreicht, nicht ganz als widerlegt anſehen. Wenn man die Nachrichten von dem zerſtörenden Regenguſſe am 3. und 4. *Auguſt* 1829 in der Gegend des *Dee in Schottland*, oder von dem auf 8000 Quadratklafter beſchränkten und kurze Zeit dauernden Regenguſſe, der am 26. *Juli* 1809 eine Gegend der Zipſer Alpen in Ungarn traf, lieſt, ſo kann man ſich nicht wohl dabei beruhigen, eine allmälig eintretende Miſchung warmer und kalter Luft als die Urſache dieſer ſo überraſchenden, mit furchtbarer Schnelligkeit herabſtürzenden Waſſerſtröme anzuſehen. Iſt gleich die von *Kämtz* angeführte Betrachtung, daß die ganze über uns ſtehende Luftſäule bei großer Hitze 11 Zoll Waſſer herzugeben im Stande ſey, ganz richtig, ſo bleibt es doch ſehr dunkel, warum ſo auf einmal dieſe Luftſäule beinahe ihren ganzen Waſſervorrath hergebe, und warum ſogar mit ſo großer Schnelligkeit Waſſer aus den benachbarten Gegenden herbeigeführt werde. Man hat ſonſt der Electricität *allein* das Geſchäft, dieſe heftigen Regen hervorzubringen, übertragen und hat den electriſchen Funken, den Blitz, aus einer Miſchung von Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas Waſſer erzeugen laſſen, obgleich niemand das Waſſerſtoffgas in der Atmoſphäre nachzuweiſen wußte; — unſtreitig hat man darin zu viel gethan, aber ſollte man nicht auch auf der andern Seite zu viel thun, wenn man einzig an Miſchung warmer und kalter Luftmaſſen denkt, und Blitz und Donner als Erſcheinungen betrachtet, die nur im Gefolge jener Ereigniſſe, ohne allen weitern Einfluß, eintreten? Gewiß wird die Luft bei den plötzlichen Ausbrüchen eines Gewitterregens nicht ſo ihres Waſſervorraths beraubt, wie es der Fall ſeyn müßte, wenn die über uns ſtehende Luftſäule allein ihre Dämpfe hergäbe, wir ſind daher genöthigt, einen ſehr ſchnellen Zutritt der benachbarten Dämpfe zuzugeſtehen, obgleich ſich dieſes Herandringen gar nicht gerade durch eine ſtürmiſche Bewegung der Luft gegen die Gewittergegend zu äußert, und ich glaube daher, daß wir genöthigt ſind, unſre Unwiſſenheit über die Umſtände, wodurch dieſe Platzregen entſtehen, zu bekennen. Einige hieher gehörige Betrachtungen werde ich noch bei Gelegenheit der Gewitterelectricität erwähnen.

Ebenſo dunkel iſt der Urſprung des Hagels. Wir wiſſen nicht, woher

[1] Sehr viele einzelne Phänomene, die ſich hieraus erklären, erwähnt *Kämtz* in ſeiner Meteorologie. I. Th. 4. Abſchn.

die große Kälte in der Luft entſteht, die nicht allein Schneeflocken hervorbringt, ſondern ſo bedeutend iſt, daß ganze Eismaſſen ſich an dieſe anlegen. Der Hagel ſcheint erſt in den niedrigern Gegenden der Atmoſphäre ſeine volle Größe dadurch zu erlangen, daß ſich aus der warmen, mit Dämpfen erfüllten Luft Waſſer an ihm (wie an dem mit Eis gefüllten Glaſe im Sommer) niederſchlägt; aber welche große Kälte muß die kleine Eismaſſe beſitzen, um durch dieſen Zutritt warmer Dämpfe nicht geſchmolzen zu werden, ſondern dieſe Dämpfe zum Gefrieren zu bringen? — Wüßten wir dieſe große Kälte erſt zu erklären, ſo wäre allerdings dieſe Vergrößerung der Hagelkörner im Herabfallen, und ebenſo die der Regentropfen kalter Gewitterregen, ſehr gut durch jene Betrachtung erklärt.

Der Thau.

Ich habe die Erſcheinungen des Thaues bis zuletzt aufgeſpart, weil die Mannigfaltigkeit, die ſich bei dem Bethauen der Körper zeigt, von einem Umſtande abhängt, an den die Phänomene der Wolken und des Regens uns nicht ſo ſehr erinnern, nämlich von dem Ausſtrahlen der Wärme von der Oberfläche der Körper.

Die Erſcheinungen des Thaues beſtehen darin, daß nach warmen, heitern Sommertagen, bei ſtiller Luft, ſchon vor Sonnenuntergang im Schatten, nach Sonnenuntergang aber an allen hinreichend freien Orten, die meiſten Gegenſtände feucht werden und ſich endlich mit Waſſertropfen bedecken, daß dieſes bei bedeckter Luft und in eingeſchloſſenen Räumen, wo hohe Gebäude den Himmel verdecken, wenig oder gar nicht ſtatt findet, und daß ungleichartige Körper ſehr ungleich vom Thau befeuchtet werden. Dieſe Ungleichheiten haben in früherer Zeit zu unrichtigen Anſichten Anlaß gegeben, und das Verdienſt, welches Wells ſich um die Lehre vom Thau erworben hat, beſteht vorzüglich darin, daß er den richtigen Gedanken, der Thau könne ſich nur auf Körpern, die kälter als die Luft ſind, anlegen, durch Beobachtungen bewährte und die Umſtände, durch welche das Erkalten der Gegenſtände eintritt, ſorgfältig erforſchte.

Das bethauende Gras iſt zuweilen um 4 bis 5 Gr. Cent., Wollflöckchen und Schwanenfedern zuweilen um 8 bis 9 Gr. kälter als die Luft, und wenn der Himmel ſich bewölkt, wobei der Unterſchied zwiſchen der Wärme der Luft und des Graſes abnimmt, ſo wird auch die Vermehrung des Bethauens geringer, und hört auf, wenn jener Unterſchied ganz verſchwindet. Wenn man während des Thauens ein Thermometer in das Gras und eines in unbewachſene Erde ſetzt, ſo ſteht jenes niedriger, und das Gras bethauet mehr als die freie Erde. Metallplatten bethauen, wenn ſie polirt ſind, gewöhnlich nicht, ſind aber dann auch nicht kälter als die Luft; bethauen ſie, ſo ſind ſie gewiß auch kälter als die Luft. Wenn man ein Uhrglas ſo auf polirtes Metall legt, daß es in der Mitte das Metall berührt, ſo bleibt es in der Mitte unbethaut, während es am Rande ſich mit Thau belegt; dort nämlich erhält es die Wärme des

Metalles, das ſich in dieſem Falle nicht ſo ſehr als die Luft abkühlt, während das Glas für ſich allein kälter als die Luft wird. Der Thau befolgt alſo darin ganz die Regel aller Dampfniederſchläge, daß er an kältern Körpern ſich anlegt. Aber warum werden denn einige Körper mehr als andre abgekühlt? — Die mehr erkaltenden ſind die, von denen wir ſchon wiſſen, daß ſie mehr Wärme durch Ausſtrahlung verlieren. Polirte Metalle erkalten ſehr langſam und bleiben daher bei der Kühle des Abends wärmer als die Luft, oder nur im ſeltenſten Falle haben ſie eine niedrigere Temperatur als die Luft; bringt man ſie aber mit leicht erkaltenden, die Wärme gut ausſtrahlenden Körpern ſo in Verbindung, daß ſie durch Leitung zugleich mit abkühlen, ſo bethauen ſie ebenfalls. Erde giebt mehr ſtrahlende Wärme her, Gras iſt noch beſſer dazu geeignet, Flöckchen Seide oder Baumwolle oder die feinen Schwanenfedern verlieren am meiſten Wärme, und ſo kann man genau die Reihenfolge der Körper nachweiſen, die mehr oder minder leicht ſtrahlende Wärme von ſich geben, und es findet ſich, daß eben dieſe Reihenfolge das leichte Erkalten bei der Abendkühle und das leichte Bethauen beſtimmt.

Dieſe Ungleichheit des Bethauens findet bei unähnlichen Gegenſtänden ſtatt, die der Luft auf ganz gleiche Weiſe ausgeſetzt ſind; aber ähnliche Gegenſtände bethauen zu eben der Zeit ungleich, wenn ſie ſich in verſchiedenen Lagen befinden. Wenn ein Platz eng eingeſchloſſen, mit hohen Wänden umgeben iſt, ſo läßt ſich leicht einſehen, daß die hier aufgeſtellten, nicht erheblich von der Erde entfernten Gegenſtände nur wenig Wärme, als durch Strahlung ausgeſandt, verlieren können; denn Wände und Boden und alle Gegenſtände ſenden ſich gegenſeitig ſtrahlende Wärme zu und erſetzen zum Theil ihren Verluſt, ſo daß nur die wenigen, nach dem freien Himmel geſandten Wärmeſtrahlen ohne Erſatz bleiben. Dieſe geringe Abkühlung iſt der Grund, warum das Bethauen an ſolchen Stellen, die, wie Wells es ausdrückt, den freien Anblick des Himmels nicht genießen, ſo gering iſt, weil nämlich die Abkühlung dort gering iſt. Wells hat Wollflöckchen oberhalb eines Bretes und nahe unterhalb eines Bretes aufgehängt, jene nahmen drei bis viermal ſo viel Thau auf als dieſe, ſo daß 10 Gran Wolle in einer Nacht oberhalb 14 Gran, unterhalb nur 4 Gran, in einer andern Nacht die obere Wolle 20 Gran, die untere nur 4 Gran aufgenommen hatte. Auch wenn die Wollflöckchen auf dem Graſe lagen, aber das eine von einem Cylinder von Thon, einen Fuß im Durchmeſſer und 2½ Fuß hoch, umgeben, das andre frei, ſo erhielt das freie Flöckchen viel mehr Thau, und zwar bei einem Verſuche mit 10 Gran Wolle das freie Flöckchen 16 Gran, das beſchattete nur 2 Gran. Wells hat mehrere ſolche Verſuche angeſtellt, die alle den Satz beweiſen, daß der Thau da weniger fällt, wo durch eine gehinderte freie Ausſicht auf den Himmel die Ausſtrahlung vermindert wird und daher auch die Abkühlung nicht ſo erheblich iſt. Die Wolken zeigen eben dieſe Wirkung eines die ausſtrahlende Wärme erſetzenden Daches. Sind die Wolken niedrig genug, ſo befinden ſie ſich in Luft, die faſt ebenſo warm als die untere Luft ſeyn kann, weil die

Abnahme der Wärme in der Höhe dann nicht groß iſt, und in dieſem Falle geben die Wolken ebenſo viel Wärme her, als die Körper auf der Erde ausſtrahlen, ſo daß dieſe völligen Erſatz erhalten. Befinden ſich aber die Wolken auch in kälterer Luft oder ſind ſie ſelbſt kälter als die untere Luft, ſo geben ſie doch immer einigen Erſatz für die ausſtrahlende Wärme, ſtatt daß der heitre Himmel der durch Strahlung hinaufwärts gehenden Wärme gar kein Hinderniß und gar nichts, wovon Erſatz herkommen könnte, darbietet.

Wells hat noch mehr einzelne Umſtände erklärt, zum Beiſpiel die Sicherung der Pflanzen gegen das Erfrieren in kalten Frühlingsnächten. Dieſe kann oft durch die leichteſte Bedeckung, wenn ſie auch nur in der Ferne aufgeſtellt den freien Anblick des heitern Himmels hindert, ſtatt finden, indem Gras beinahe ganz unabgekühlt die Wärme der Luft behielt, wenn ein dünnes Tuch in 6 Zoll Entfernung ein Dach darüber bildete, während das unbedeckte Gras 3 Grad kälter als die Luft ward. Dieſe Sicherung reicht aber freilich dann nicht mehr aus, wenn die Luft ſelbſt bis zu größern Entfernungen von der Erde die Froſtkälte annimmt. Auch die Erfahrung, daß die Frühlingsnachtfröſte auf Hügeln weniger nachtheilig als in der Ebne zu wirken pflegen, läßt ſich vollkommen erklären, wenn man die ganz unbezweifelte Erfahrung beachtet, daß nur die nahe an der Erdoberfläche liegenden Lufttheilchen in der Nacht bedeutend abgekühlt werden, während die obern ſich viel wärmer erhalten. Allerdings nämlich verlieren auch die an Hügeln ſtehenden Pflanzen durch Ausſtrahlung ihre Wärme und nehmen daher dem benachbarten Lufttheilchen die ſeinige, aber dieſes Lufttheilchen wird dann ſogleich ſchwerer als das ihm benachbarte und ſinkt hinabwärts, ſo daß eben der Punkt der feſten Oberfläche nach und nach einer Menge von herabſinkenden Theilchen die Wärme entzieht, alſo nicht ſo kalt wird, als ein in der Ebne liegender Punkt, der nur einmal durch die ſich auf ihm niederlegenden Lufttheilchen Zufluß neuer Wärme erhält.

Auch die künſtliche Eisbildung zu Benares in Oſtindien, die in vollkommen heitern Nächten ſtatt findet, wo die Luft nicht die Froſtkälte erreicht, gehört hierher. Die Methode dieſer Eisbildung beſteht der Hauptſache nach in folgendem. Auf einer Ebne macht man Vertiefungen von ½ Fuß tief und 5 Fuß breit, dieſe werden mit Zuckerrohr oder Stroh belegt und darauf flache Gefäße von unglaſirtem Töpfergute mit Waſſer gefüllt während der Nacht ausgeſtellt; dieſe Gefäße, obgleich ſie das Waſſer nicht durchfließen laſſen, geſtatten doch ein ſolches Durchſchwitzen, daß ſich die Außenſeite des Gefäßes immer feucht erhält, und in dieſen Gefäßen gefriert das Waſſer, während die Luft 5° Cent. und ſelbſt noch mehr Wärme hat.[1] Die Uebereinſtimmung dieſer Eisbildung mit der Entſtehung des Thaues iſt nicht zu verkennen, weil auch bei jener ein ganz heiterer Himmel und vollkommene Windſtille ein nothwendiges Erforderniß iſt. Wells hat in England in heitern Nächten, wo

[1] Unter günſtigen Umſtänden iſt die entſtandne Eisrinde einen Zoll dick. Uebrigens möchte doch wohl die hier ſtatt findende Eisbildung mehr auf Rechnung der Verdunſtungskälte zu ſetzen ſeyn. (M.)

die Luft im Frühling oder Herbſt nicht die Froſtkälte erreichte, dieſe Eisbildung mit Erfolg nachgeahmt und die Urſachen derſelben auf folgende Weiſe erklärt. Man ſtellt das Waſſer in flachen Vertiefungen auf, weil die kältere Luft, als ſchwerer, ſich nach dieſen ſenkt. Man legt Stroh oder Zuckerrohr unter, weil dieſes die Wärme der Erde, die etwas unter der Oberfläche immer größer bleibt, ſchlecht zuleitet, und ſelbſt ſehr leicht die Wärme entläßt, wenn dem Ausſtrahlen der Wärme kein Erſatz von anderswoher im Wege ſteht. Die durchnäßten Thongefäße ſcheinen die Wärme durch Ausſtrahlung leicht zu verlieren, und ſo iſt alles hier vereinigt, um eine niedere Temperatur hervorzubringen, die ſich, bei der nur geringen Höhe des Waſſers in den Gefäßen, der ganzen Waſſermaſſe mittheilt. Die an der ganzen Oberfläche der Gefäße unterhaltene Feuchtigkeit kann vielleicht darum als nöthig angeſehen werden, weil die feuchte Außenfläche der Gefäße nicht geſtattet, daß ein Zutritt der Wärme von unten her hindernd einwirke, wenn auch, wie Williams beobachtet hat, die Strohunterlage nicht ganz die Eiskälte erreichte; die von unten das Gefäß treffende Wärme kann nämlich, zur Dampfbildung verwandt, die Abkühlung des Waſſers nicht aufhalten. Dieſe Ueberlegungen ſcheinen mir die Schwierigkeiten bei der Erklärung dieſer Erſcheinung größtentheils zu entfernen, indem die Erſcheinung nur in ſofern überraſchend bleibt, als nicht bloß Gefrierkälte eintritt, ſondern wirkliches Gefrieren, welches, wie Sie wiſſen, einen ſehr großen und dauernden Verluſt von Wärme vorausſetzt. [1]

Achtundfünfzigſte Vorleſung.

Das Verbrennen.

Unter den Erſcheinungen, welche die Hervorbringung der Wärme betreffen, bieten die Erſcheinungen des Verbrennens ſo viel Merkwürdiges und zugleich ſo viel für die Anwendung Wichtiges dar, daß auch dieſer Gegenſtand hier noch umſtändlicher abgehandelt zu werden verdient.

Das Verbrennen findet dadurch ſtatt, daß die durch irgend ein Mittel einmal hervorgebrachte Hitze die den Körper umgebende Sauerſtoffluft zerſetzt, und wir finden uns bewogen, anzunehmen, daß das Sauerſtoffgas bei dieſer Zerſetzung den Wärmeſtoff frei läßt, welcher jenem ſeine elaſtiſche Luftform verlieh, der Sauerſtoff ſelbſt aber, die wägbare Baſis der Sauerſtoffluft, unterdeß andere Verbindungen eingeht. Da dieſe Verbindungen verſchieden

[1] Die von Muncke gegen dieſe ganze Anſicht gemachten Einwürfe (ſ. deſſen Handb. d. Naturlehre) muß ich der näheren Prüfung der Leſer überlaſſen; hier würde es zu viel Raum fordern, wenn ich diejenigen Gründe darlegen wollte, die mich, ſo wenig ich auch das Gewicht dieſer Einwürfe geringſchätzend beurtheile, veranlaßt haben, der bisherigen Anſicht von Ausſtrahlung der Wärme treu zu bleiben.

ſind, je nachdem der ſich zerſetzende, brennende Körper ein andrer iſt, ſo will ich ſogleich ein einzelnes Beiſpiel näher betrachten.

Wenn man die fetten Körper, welche wir zur Hervorbringung von Flammen anwenden, der Deſtillation in geſchloſſenen Gefäßen unterwirft, ſo geben ſie Waſſerſtoffgas und Kohlenſtoffgas mit nur wenig Sauerſtoffgas; ſie bedürfen einer bedeutenden Hitze, um in dieſe Beſtandtheile zerſetzt zu werden, und eben dieſe Hitze reicht, wenn ſie unter freiem Zutritt des Sauerſtoffgaſes ſtatt findet, auch hin, um die Verbrennung des Waſſerſtoffgaſes, das heißt, die Verbindung ſeines Waſſerſtoffs mit dem Sauerſtoff, wobei dann Waſſerdampf hervorgeht, zu bewirken. Indem ſo das Sauerſtoffgas ſeinen ſchweren Beſtandtheil, den Sauerſtoff, zur Bildung eines neuen Körpers, des Waſſers, hergiebt, wird eine große Menge Wärme frei, und daher hat man mit gutem Grunde die Meinung gefaßt, daß der elaſtiſche Zuſtand des Sauerſtoffgaſes, das Beſtehen deſſelben im luftförmigen Zuſtande, darauf beruhe, daß der Wärmeſtoff in ſehr großer Menge als Beſtandtheil im Sauerſtoffgas enthalten ſey. Sein Freiwerden iſt es alſo, worin wir die Entſtehung der Wärme begründet finden.

Iſt der Zutritt des Sauerſtoffs ungehindert, ſo unterhält ſich nun das Brennen fortwährend ſelbſt, da die zuerſt durch eine fremde Urſache herbeigeführte Erhitzung fortbeſteht, weil die Zerſetzung der Luft ſie immer erneuert. Eben dieſe Zerſetzung findet auch in andern Fällen ſtatt, wo kein Waſſerſtoff entwickelt wird. Die ſchon ihrer flüchtigen Beſtandtheile beraubte Kohle hat bei der Glühhitze eine ſo große Verwandtſchaft zum Sauerſtoff, daß auch ſie das Sauerſtoffgas zerſetzt, der Kohlenſtoff bildet mit dem Sauerſtoff die kohlenſaure Luft, aber obgleich hier eine neue Luftart entſteht, ſo wird doch auch hier, wie die Erfahrung zeigt, Wärme frei, und das Verbrennen wird unterhalten, ſo lange die gewöhnliche atmoſphäriſche Luft oder noch beſſer das reine Sauerſtoffgas freien Zutritt hat. In andern Fällen ſcheint zwar eine Verſchiedenheit einzutreten, die aber doch nur in der gradweiſen Ungleichheit der Erſcheinungen beſteht. Das glühende Eiſen zerſetzt ebenfalls das in der Atmoſphäre enthaltene Sauerſtoffgas, und man könnte daher glauben, während das glühende Eiſen ſich oxydirt und dabei Wärme frei wird, müſſe das Glühen des Eiſens ebenſo gut als das Glühen der Kohle unterhalten werden, was aber doch nicht der Fall iſt. Aber offenbar iſt hier die frei werdende Wärme zwar vorhanden, jedoch nicht in ſo hinreichendem Maaße, daß ſie den Proceß des Oxydirens fortwährend erneuern könnte; daß dieß ſo iſt, erhellt, wenn wir ein Stück glühenden Stahl in reines Sauerſtoffgas bringen, wo ein Stückchen angebrannter Zunder, an eine Stahlfeder befeſtigt, hinreicht, um den glühend werdenden Stahl in ein vollkommenes, ſehr glänzendes Verbrennen zu verſetzen. Hier nämlich, wo der Sauerſtoff ſo reichlich zuſtrömt, geht die Zerſetzung des Sauerſtoffgaſes und die Verbindung des Sauerſtoffs mit dem Eiſen ſo lebhaft fort, daß Wärme genug frei wird, um auch die nächſten Theile der dünnen Stahlmaſſe glühend und zur Oxydirung fähig zu machen. Dieſes Experiment iſt, ſo wie das Verbrennen des Phosphors in reinem

Sauerſtoffgas, eines der glänzendſten, indem, wie in ſo vielen Fällen, die durch ſchnelle Zerſetzung des Sauerſtoffgaſes hervorgebrachte Hitze auch hier mit der lebhafteſten Lichterſcheinung verbunden iſt.

Die Erſcheinung des im reinen Sauerſtoffgas im eigentlichen Sinne verbrennenden Stahls leitet uns nun auch zu der richtigen Beurtheilung der Erſcheinungen, die wir an der Kohle und an andern brennenden Körpern in verdünnter Luft oder in einer nur wenig Sauerſtoffgas enthaltenden Luft wahrnehmen. Die Lichtflamme erliſcht, die Kohle hört auf zu glühen, wenn wir die Luft ſtark verdünnen, und eben das geſchieht, wenn in eingeſchloſſener Luft der Sauerſtoff nach und nach verzehrt wird. Wir ſind geneigt anzunehmen, der gänzliche Mangel an Sauerſtoff bringe dieſen Erfolg hervor; aber es iſt gewiß, daß das Auslöſchen der Flamme ſchon eintritt, wenn auch noch ziemlich viel Sauerſtoff übrig iſt. Offenbar iſt es hier, wie bei dem glühenden Eiſen; die Zerſetzung nämlich dauert zwar zuerſt fort, aber es entbindet ſich nicht Wärme genug, um den Proceß lebhaft zu unterhalten, das in dem umgebenden Raume nur ſparſam vorhandene Sauerſtoffgas muß gleichſam mit Mühe zuſammengeſucht werden und bringt daher nicht mehr den vollen Hitzegrad hervor; indem dieſer ſinkt, vermindert ſich zugleich die Stärke der Anziehung für den Sauerſtoff, und ſehr bald tritt, da beide Umſtände dazu mitwirken, das gänzliche Erlöſchen ein, weit eher als aller Sauerſtoff verzehrt iſt.

Davy hat über dieſen Gegenſtand genauere Verſuche angeſtellt und gefunden, daß die Körper, welche zum Entzünden einer geringern Hitze bedürfen, in einem Raume, der wenig Sauerſtoffgas enthält, noch fortbrennen, während andre ſchon erlöſchen. Phosphor, der ſich ſchon bei ſehr niedriger Temperatur entzündet, brennt in verdünnter atmoſphäriſcher Luft fort, wenn dieſe auch bis auf $1/_{60}$ der natürlichen Dichtigkeit verdünnt iſt, und entzündet ſich ſogar in derſelben; für Schwefel hingegen wird eine Dichtigkeit, die mehr als $1/_{20}$ iſt, erfordert, und eine Alkoholflamme erliſcht ſchon, wenn die Dichtigkeit der Luft ungefähr $1/_6$ iſt. Ebenſo verhält es ſich mit den Luftarten, daß nämlich die bei geringerer Hitze entzündbaren auch in verdünnterer Luft noch fortbrennen. Waſſerſtoffgas, das man, indem es ſich entwickelt, aus einer Röhre hervorſtrömen und dort verbrennen läßt, giebt, wenn man die die Flamme umgebende Luft verdünnt, zuerſt eine größere Flamme, die aber, wenn die Dichtigkeit $1/_8$—$1/_{10}$ der natürlichen iſt, erliſcht. Dieſes Erlöſchen tritt bei einer größern Flamme ſpäter ein, weil die Hitze hier etwas beſſer unterhalten wird, ſelbſt wenn der Verbrennungsproceß langſamer fortgeht. Ebenſo kann man die Flamme länger erhalten und ſie zu einer vollſtändigern Zerſtörung des Sauerſtoffgaſes anwenden, wenn man auf andre Weiſe die Abnahme der Hitze hindert. Befindet ſich in der Flamme ein Metalldraht, ſo bringt die Flamme dieſen zum Glühen, und nun iſt ſie fähig, noch aus dem mehr verdünnten Sauerſtoffgas ſich die nöthige Nahrung zu ſuchen, weil der Metalldraht die einmal erlangte Hitze länger behält und dadurch die zur Zerſetzung des Sauerſtoffgaſes nöthige Hitze auch dann noch unterhält, wenn der

Verbrennungsproceß ſelbſt dieß nicht mehr vermag. Davy's Verſuche zeigten, daß die Alkoholflamme bei einer Verdünnung der Luft bis auf $^1/_6$ ſchon erloſch, wenn ſie allein brannte, aber erſt bei einer Verdünnung bis auf $^1/_8$ der natürlichen Dichtigkeit, wenn ein glühender Platindraht die Hitze unterhielt.

Jene Regel, daß ſich die Entzündbarkeit eines Körpers durch den Grad der Verdünnung der atmoſphäriſchen Luft, wobei er noch fortbrennt, beſtimmen laſſe, findet auch Anwendung auf Miſchungen von Gasarten, die gemiſcht entzündbar ſind. Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas, in dem Verhältniſſe gemiſcht, wie es zur Waſſerbildung nöthig iſt, laſſen ſich durch den electriſchen Funken nicht mehr entzünden, wenn ihre Dichtigkeit weniger als $^1/_{18}$ derjenigen iſt, die dem Druck der Atmoſphäre entſpricht; gleiche Theile Chlorine und Waſſerſtoffgas dagegen, die ſich bei niedrigerer Temperatur entzünden, geſtatten eine Verdünnung bis auf $^1/_{24}$. Sind ſolche Gasgemiſche mit andern, brennbaren oder nicht brennbaren Luftarten verbunden, ſo wird ihre Brennbarkeit in ungleichem Maaße geſchwächt nach Verſchiedenheit der beigemiſchten Luftarten, indem zum Beiſpiel Knallgas (1 Maaß Sauerſtoffgas mit 2 Maaß Waſſerſtoffgas gemiſcht) nicht mehr zum Entzünden vermittelſt eines ſtarken electriſchen Funkens zu bringen iſt, wenn es auch nur $^1/_2$ Maaß ölbildendes Gas beigemiſcht enthält, ſtatt daß eine Beimiſchung von 8 Maaß Waſſerſtoffgas nöthig iſt, um das Explodiren zu hindern. Ebenſo bedarf man weniger kohlenſaures Gas, um die Exploſion zu hindern, als Stickgas. Eine ähnliche Verſchiedenheit findet bei brennbaren feſten Körpern ſtatt, die man in ein mit kohlenſaurem Gas oder mit Stickſtoffgas vermiſchtes Sauerſtoffgas bringt.

An die Erfahrung, daß ein fremder erhitzter Körper das Verbrennen noch unterhält, wenn auch die Umſtände ſonſt minder günſtig für die Zerſetzung ſind, ſchließt ſich Davy's Glühlämpchen an. Bringt man nämlich einen ſehr feinen Platindraht, der ſpiralförmig gewunden iſt, nachdem man ihn glühend gemacht hat, in ein Glas, worin unten Aether enthalten iſt, ſo daß der Draht ſich bloß in den Aetherdämpfen befindet, ſo dauert das Glühen des Drahtes ohne Aufhören fort. Der Aetherdampf findet hier Hitze genug, um zu verbrennen, und dieſe Zerſetzung liefert wieder Hitze genug, um das Glühen eines ſo dünnen Drahtes zu erhalten. Mit erwärmtem Alkohol gelingt der Verſuch auch. Aber da die Maſſe des ſehr dünnen Platindrahts ſo gering iſt, ſo reicht ein geringer Luftzug hin, um ihn abzukühlen, und dann hört leicht die ganze Erſcheinung auf; man muß ihn daher gegen Abkühlung von außen ſichern. Auf ähnliche Weiſe erhält eine mit ſehr dünnem Platin überzogene Glaskugel, wenn man ſie zuerſt in einer Alkoholflamme hat glühend werden laſſen, ſich fortwährend glühend, wenn ſie über dem ſich immer mit neuem Alkohol füllenden Dochte in den Dämpfen deſſelben ſteht und gegen Abkühlung geſichert iſt. Andre Metalldrähte geben zwar ähnliche Erſcheinungen, ſind aber bei der leichten Schmelzbarkeit nicht ſo bequem zu benutzen. Auch verkohlte Körper erhalten ſich im Aetherdampfe länger glühend.

Entzündung bei niedrigen Temperaturen. Selbſtentzündung.

Sehr merkwürdig ſind einige, ſchon in niedriger Temperatur eintretende Feuererſcheinungen, die wir deshalb Selbſtentzündungen nennen und die ohne hinzugebrachtes Feuer entſtehen. Eine ſolche bieten uns die gewöhnlichen Zündhölzchen dar, deren Spitze mit chlorſaurem Kali überzogen iſt. Wird dieſer Körper in concentrirte Schwefelſäure getaucht, ſo geht die Verbindung mit ſo großer Heftigkeit vor ſich, daß eine Entzündung eintritt, die den am Zündhölzchen ſogleich über jener Subſtanz angebrachten Schwefel mit entzündet. Da die hierbei gebrauchte Schwefelſäure durch Einſaugen von Waſſer aus der Luft ziemlich bald untauglich wird, ſo hat man in der neueſten Zeit eine andre Art von Zündhölzchen vorgezogen, die ſogenannten Frictionszündhölzchen, die durch bloße Reibung an Holz u. ſ. w. entzündet werden; dieſe ſind an der Spitze mit einer Maſſe überzogen, deren Hauptbeſtandtheil fein vertheilter Phosphor iſt, unter welchem ſich in der Regel Schwefel befindet.

Aehnliche Erſcheinungen des Selbſtentzündens zeigen die ſogenannten Pyrophore oder Selbſtzünder, welche die Eigenſchaft beſitzen, beim Zutritte der Luft ſich zu entzünden. Der Homberg'ſche Pyrophor, von allen der gebräuchlichſte, der aus gebranntem Alaun, Kohle (Kienruß) und Kalimetall beſteht, hat, wenn er gut bereitet iſt, die Eigenſchaft, die Waſſerdämpfe aus der Luft ſchnell an ſich zu ziehen und das Waſſer zu zerſetzen, ſo wie das Kalimetall ſelbſt dieſe Eigenſchaft, wegen ſeiner ungemein ſtarken Verwandtſchaft zum Sauerſtoff, im höchſten Grade beſitzt und da, wo es mit Waſſer zuſammen kommt, dieſes unter Entzündung zerſetzt. Er entzündet ſich ſchon beim Ausſchütten in der Luft, jedenfalls auf Papier oder Holz liegend, und verbrennt zu Aſche. Auch die Knallmetalle (Knallgold, Knallſilber und Knallqueckſilber) gehören hieher. Dieſe gefährlichen Verbindungen explodiren bei geringer Erhöhung der Temperatur, und einige derſelben bringen daher ſchon bei der leiſeſten Reibung, ſelbſt wenn die Menge ſehr klein iſt, eine zerſtörende Exploſion hervor. Bei einigen derſelben wird dieſe Wirkung nach der Meinung der Chemiker durch die Zerſetzung des in ihnen enthaltenen Ammoniaks hervorgebracht, deſſen Waſſerſtoff ſich mit dem Sauerſtoff des in der Verbindung enthaltenen Metalloxydes verbindet; in andern Fällen ſcheint eine eigne, der Cyanſäure den Beſtandtheilen nach faſt gleiche Säure, Knallſäure genannt, die Erſcheinung zu bewirken.[1] Die Zündhütchen, deren man ſich bei den jetzt ſo verbreiteten Percuſſionsgewehren bedient, beſtehn aus Knallqueckſilber, das in kleine Hütchen von ſehr dünnem Kupfer eingeſchloſſen iſt.

Auch die im gemeinen Leben vorkommenden Körper zeigen nicht ſelten Selbſtentzündungen. Nach mehreren Erfahrungen iſt die fein zerriebene Kohle der Entzündung ohne hinzugebrachtes Feuer unterworfen, und **Aubert's** Verſuche zeigen, daß dieſe durch die bekannte Fähigkeit der Kohle, auch dann,

[1] Nach den neueſten Unterſuchungen ſind die genannten Knallmetalle ſämmtlich knallſaure Salze. (M.)

wenn ſie nicht zerrieben iſt, Luft zu abſorbiren, hervorgebracht wird; dieſe Luftabſorption bewirkt in der fein zerriebenen Kohle, wenn dieſe in bedeutender Menge beiſammen iſt, eine bis auf 180° Cent. gehende Erhitzung und im Innern, etwa 5 bis 6 Zoll von der Oberfläche, eine Entzündung, die ſich dann nach oben ausbreitet. Die bei dieſer Abſorption der Luft eintretende Zunahme des Gewichtes der Kohle rührt nach Aubert nicht bloß von dieſer Luft, ſondern auch von aufgenommenem Waſſer her. Wollene Zeuge, die mit Oel befeuchtet ſind und auf Stroh liegen, können ſich, wenn die Sonnenhitze ſehr brennend iſt, ſo erhitzen, daß ſie ſich entzünden. Heuhaufen, die feucht zuſammen gebracht ſind, gerathen in eine Art von Zerſetzung, wobei das Heu ſchwarz wird, und erhitzen ſich ſehr gewöhnlich bis zum Dampfen, zuweilen auch bis zur wirklichen Entzündung. Bei Haufen von Korn und manchen andern Körpern, Reis, Erbſen, Bohnen, Kaffee, Sägeſpänen u. ſ. w. findet etwas Aehnliches ſtatt.

Entzündung des Waſſerſtoffgaſes durch Berührung des Platinſchwamms.

Als eine Selbſtentzündung von beſondrer Art muß ich noch die von Döbereiner entdeckte Eigenſchaft des Platins anführen. Wenn man das metalliſche Platin ſich ſehr fein zertheilt verſchafft, ſo wie man es bei der Zerſetzung des Platinſalmiaks durch Feuer erhält, ſo beſitzt dieſer Platinſchwamm die Eigenſchaft, das über ſeine Oberfläche hin ſtrömende Waſſerſtoffgas unter dem Zutritt der atmoſphäriſchen Luft zu entzünden. Döbereiner wurde durch eine Reihe von Verſuchen auf die Anſtellung dieſes Verſuchs geleitet, indem er bei einem Oxyde des Platins die Eigenſchaft, das Waſſerſtoffgas begierig anzuziehen, entdeckt hatte. Dieſes Entzünden und das Erglühen des Platins findet in reinem Waſſerſtoffgas nicht ſtatt, ſondern das aus einer Oeffnung hervordringende Waſſerſtoffgas muß ſich mit atmoſphäriſcher Luft (oder mit Sauerſtoffgas) miſchen und ſo an der Oberfläche des Platins hinſtreichen. Eben dieſe Wirkung zeigen friſch abgefeilte Platinſpäne, die jedoch nicht lange wirkſam bleiben, aber durch Glühen oder durch Berührung von Salpeterſäure oder Salzſäure (die durch Abtrocknen wieder weggeſchafft worden ſind) ſtellt ſich die Wirkung wieder her. Platinblättchen wirken nicht, wenn ſie glatt ſind, wohl aber wenn ſie ſehr unregelmäßig faltig zuſammengedrückt ſind. Dieſes Metall hat in den angegebenen Zuſtänden die Eigenſchaft, ſelbſt bei gewöhnlicher Temperatur das Waſſerſtoffgas zu einer Verbindung mit Sauerſtoffgas zu veranlaſſen, und indem dieſe Verbindung, ſo ſchnell ſtatt findend, Wärme genug frei macht, ſo brennt das Waſſerſtoffgas und der Platinſchwamm wird glühend. Nur wenige andre Metalle (z. B. Palladium) beſitzen dieſelbe Eigenſchaft, bei mehrern hingegen iſt ſie nicht in der gewöhnlichen Temperatur, wohl aber bei etwas höhern Wärmegraden merklich. Man hat den erſten Urſprung dieſer Erſcheinung aus der ſtarken electriſchen

Anziehung erklärt, welche das Platin auf den Waſſerſtoff ausübt, wodurch eine anfangende Erhitzung und, wegen der dadurch erhöhten Anziehung beider luftförmigen Stoffe auf einander, das Verbrennen entſtehe; aber dieſe Erklärung iſt doch nicht ganz genügend.

Dieſe Eigenſchaft des Platins macht es zu eudiometriſchen Beſtimmungen brauchbar; denn wenn man die zu prüfende Luft mit Waſſerſtoffgas miſcht, ſo bringt das hineingebrachte Platin eine Verbindung des vorhandenen Sauerſtoffgaſes mit dem Waſſerſtoffgas hervor und aus der Menge der zerſtörten Luft ergiebt ſich, weil allemal zwei Volumentheile Waſſerſtoffgas ſich mit einem Volumentheile Sauerſtoffgas verbinden, die Menge des vorhanden geweſenen Sauerſtoffgaſes.

Oefen und Feuerherde. Rauchverzehrende Oefen.

So bekannt alles das iſt, was unſre gewöhnlichen Oefen und die Mittel zur Erwärmung betrifft, ſo laſſen ſich doch auch dabei eine Menge von Betrachtungen anſtellen. — Daß wir den Schwefel anwenden, um aus dem kleinſten Zunderfunken Feuer anzumachen, beruht darauf, daß der Schwefel ſchon bei niedriger Temperatur — wenige Grade über der Hitze des kochenden Waſſers — ſich entzündet. Aber ſchon beim Anzünden des Feuers in unſern Oefen finden wir allerlei Schwierigkeiten. Der brennende Holzſpan erliſcht, wenn er den kalten Boden des Ofens berührt, ja wir dürfen ihn nicht einmal mit einem größern Holzſtücke berühren, ohne in Gefahr zu ſeyn, daß wir ihn dadurch der Wärme berauben, deren er bedarf, um fort zu brennen, und nur Körper, die bei ſehr geringer Hitze ſich entzünden, geſtatten einige unvorſichtige Abkühlung, ohne zu erlöſchen. Es iſt daher Regel, den neu zu entzündenden zweiten Holzſpan, vorzüglich wenn er nicht ſehr dünn oder von einem ſchwerer entzündbaren Holze iſt, ohne Berührung des brennenden Spanes über der Flamme zu halten, damit er erhitzt werde, ohne jenen abzukühlen. Es iſt ferner Regel, das kleine brennende Holzſtückchen lieber auf Kohlen, als auf Holz oder gar auf den eiſernen Boden des Ofens zu legen, weil die Kohle ein ſchlechter Wärmeleiter iſt und ſich leicht ſelbſt bis zum Brennen erhitzt. Ein zu ſcharfer, kalter Luftzug löſcht die ſchwach glimmende Flamme aus, weil er zu ſehr abkühlt; ein mäßiger Luftzug belebt ſie, weil er die Zerſetzung durch immer neu zugeführten Sauerſtoff befördert.

Iſt das Feuer einmal ſo weit im Brennen, daß dieſes Auslöſchen durch Luftzug nicht mehr zu befürchten iſt, ſo thut die Verſtärkung des Luftzugs die beſten Dienſte, um das Feuer zu beleben und um aus dem Brennmaterial die größte Menge Hitze zu gewinnen. Das Holz nämlich giebt bei mäßiger Hitze mehrere Stoffe her, die unverbrannt fortgeführt, dagegen völlig verbrannt werden, wenn man ſie ſtärkerer Hitze ausſetzt. Wir ſehen dieſes an dem dicken Rauche, den ſelbſt trocknes Holz giebt, wenn es langſam und unvollkommen verbrennt. Dieſer Rauch enthält noch vielen brennbaren Stoff, der zur Erhitzung oder zum Leuchten beitragen kann, nämlich harzige Stoffe,

Holzeſſig, Ruß, und alle dieſe Körper kann man auch, wenn man Holz in verſchloſſenem Raume ſtark erhitzt und dadurch verkohlt, als Ergebniß dieſer Deſtillation auffangen; da nun dieſe Stoffe bei hinreichender Hitze ſelbſt fähig ſind, zerſetzt zu werden und das Sauerſtoffgas zu zerſetzen, ſo verlieren wir ſehr, wenn wir ſie unbenutzt entweichen laſſen. Auf dem vollkommenen Verbrennen dieſer Stoffe beruht zum Theil der Vortheil der geſchloſſenen Feuerherde, wo das auf dem Roſte A brennende Holz durch den ſtarken Zug in der hoch hinaufgehenden Röhre B veranlaßt wird (XII. Fig. 4), ſeine Flamme durch den horizontalen Theil C des Herdes fortzuführen. Iſt hier durch glühende Kohlen, die ſich in D befinden, hinreichende Hitze, um die bei A entweichenden Rauchtheile zu verbrennen, ſo kann man erlangen, daß hier alles, was verbrennlich iſt, der völligen Zerſetzung unterworfen wird. Die Vortheile, welche dieſer ſtarke Zug gewährt, den eine hohle Röhre B hervorbringt, ſind in jeder Hinſicht bedeutend. Statt daß ein bei A frei brennendes, auf einem gewöhnlichen Roſte liegendes Holz nur durch einen langſamen Zufluß von Luft angefacht wird, führt dagegen hier der durch die Erhitzung in der Röhre B hervorgebrachte Strom heißer Luft einen Ueberfluß von Sauerſtoffgas herbei, welches, durch das brennende Holz ſtrömend und allen erhitzten brennbaren Theilen ſich darbietend, die Verbrennung vollkommen macht. Noch beſſer wird dieſe vollkommene Verbrennung bewirkt, wenn man in den ſehr erhitzten Rauch einen Strom von Luft, die noch gar nichts von ihrem Sauerſtoff verloren hat, dringen läßt, damit es gewiß nicht an dieſem zum Verbrennen ſo wichtigen Körper fehle.

So erhält man durch dieſe und ähnliche Vorrichtungen rauchverzehrende Oefen, und unſre gewöhnlichen Oefen ſind es deſto mehr, je lebhafter der Zug iſt, den ſie bewirken, und je mehr dafür geſorgt iſt, daß der Rauch, fortwährend der Hitze glühender Kohlen ausgeſetzt, lange heiß erhalten werde und nicht durch zu frühes Abkühlen eine Art hier ganz unnützer Deſtillation erleide. Eine einfache Anordnung ſolcher rauchverzehrender Oefen verdient hier noch erwähnt zu werden. Wenn auf dem Roſte A (Fig. 5) das zum Brennen beſtimmte Holz liegt und man glühende Kohlen auf daſſelbe legt, ſo iſt der gewöhnliche Erfolg, daß das Holz ſeinen Rauch nach B aufwärts ſendet; iſt aber die Röhre C bedeutend hoch und hat man ſie vorher ſo erhitzt, daß ein ſtarker Luftſtrom in ihr hinauf, alſo bei B eindringend von B nach D hinabwärts geht, ſo zieht dieſer Luftſtrom die Flamme nach innen und die immer mehr und mehr erhitzte Röhre C erfüllt den Zweck, den Rauch vollſtändig zu verbrennen, immer beſſer, je ſtärker das in A brennende und in die Röhre hineingehende Feuer iſt.

Ein ebenfalls wichtiger Umſtand beim Anordnen des Feuers iſt, daß man die noch unentflammten Holzſtücke auf die paſſendſte Weiſe zur Verſtärkung des Feuers anbringe. Die Holzſtücke müſſen nicht zu groß ſeyn, damit ſie viel glühende Oberfläche darbieten, um ſo das Sauerſtoffgas vollſtändiger zu zerſetzen. Sie müſſen nicht ſo auf die Kohlen gelegt werden, daß ſie durch

ihre Kälte die Kohlen tödten, ihnen zu viel Wärme entziehen und ſie dadurch zur Zerſetzung der Luft untauglich machen; ſie müſſen dagegen dem Zutritte der Flamme vollkommen ausgeſetzt ſeyn, ohne die Kohlen in zu vielen Punkten zu berühren; ſie müſſen einander ſo nahe ſeyn, daß das Entflammen des einen Stückes das andere erreiche, dabei aber muß der Luftzug ungehemmt jedem derſelben Sauerſtoffgas zuführen können. Iſt der Roſt, auf dem allemal das Feuer am beſten brennt und der bei ſolchen Brennſtoffen, die viel Sauerſtoff brauchen, wie Stein- und Braunkohlen, gar nicht entbehrt werden kann, in der Mitte etwas geſenkt, ſo hat das den Vortheil, daß auch die allmälig abnehmende Menge des Feuermaterials ſich gegen die Mitte ſammelt und dem Zuge auf die vortheilhafteſte Weiſe ausgeſetzt bleibt.

Damit kein unnützer Luftzug neben dem Feuer vorbei gehe, iſt es vortheilhaft, den Roſt ſo anzulegen, daß alle ſeine Oeffnungen gegen den Mittelpunkt des Feuers gehen, indem alsdann auch die von der Seite eindringende Luft auf das Feuer zu geleitet wird. Ebenſo iſt es da, wo ein ſtarker Blaſebalg das Feuer anbläſt, vortheilhaft, dieſen in einen das Feuer umgebenden hohlen Cylinderraum blaſen zu laſſen, damit durch die durchlöcherte innere Wand dieſes Cylinderringes die von allen Seiten auf den Feuerraum eindringende Luft ein Anblaſen von allen Seiten gegen die Mitte des Feuers hervorbringe.

Ebenſo wichtig, als dieſe Rückſichten auf die kräftige Unterhaltung des Feuers, ſind auch die auf die beſte Benutzung deſſelben. In Beziehung darauf verdient vorzüglich beachtet zu werden, daß das Feuer nur diejenigen Körper gut erwärmt, die es mit ſeiner Flamme berührt. Allerdings trägt auch die ſtrahlende Wärme des brennenden Feuers bei, die entfernten Wände unſerer Oefen zu erhitzen, aber wenn bloß in der Mitte eines großen Ofens ein Feuer brennt, ſo wird der Ofen bei weitem nicht ſo gut erwärmt, als wenn wir die Flamme zwingen, ſich an den Wänden hin zu ziehen. Daher iſt es vortheilhaft, dem Theile des Ofens, worin das Feuer brennt, eine ſchmale und niedrige Form zu geben, damit bei hinreichendem Zuge die Flamme alle Seitenflächen berühre; dann aber muß auch die erhitzte und aller verbrennlichen Stoffe beraubte Luft lange genug in den Zügen des Ofens fortgeleitet werden, damit ſie alle ihre Wärme abſetze. Ebenſo muß man beim Kochen dafür ſorgen, daß die Flamme den Boden der Gefäße treffe und an ihnen hinſpielend ſo viel Wärme als möglich an ſie mittheile. Solcher Regeln laſſen ſich noch manche aufſtellen, und Rumford hat zu manchen einzelnen practiſchen Anwendungen Anleitung gegeben. [1]

Zu der Beſtimmung, wie viel Wärme man beim Verbrennen irgend eines Feuerungsmittels erhalte, ſcheint Montgolfier's Calorimeter ſehr angemeſſen zu ſeyn, da der Rumford's doch nur die Hitze einer kleinen Flamme zu

[1] In gewöhnlichen Zimmerheizungen wird nur 1/5, ſelbſt in einem guten Hohofen nur 1/4, bei offenen Kochherden gar nur 1/20 der ganzen entwickelten Wärme wirklich benutzt, der Reſt geht verloren. (M.)

beſtimmen dienen kann. Dieſes Inſtrument beſteht aus einem mit Waſſer gefüllten Kaſten A B C D (XII. Fig. 6), in deſſen Mitte ſich ein mit vollkommen waſſerdichten Wänden verſehener Ofen E F G H befindet. Dieſer Ofen hat ſeinen Roſt bei F G und bei H iſt der Luftzug; durch die Oeffnung bei A werden die zum Brennen beſtimmten Körper hineingelegt und entzündet, dann aber wird dieſe Oeffnung durch einen dichten Deckel geſchloſſen, ſo daß der Luftzug den Rauch durch die ſehr lange Röhre i k l fortführen muß. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man den Zug ſo zu verſtärken ſuchen muß, daß das Brennmaterial ſo wenig als möglich unverbrannten Rauch durch die Oeffnung l entweichen laſſe und daß auch dem Rauche und der bei l hervorgehenden Luft alle Wärme faſt ganz entzogen ſey. Damit auch die bis in die Röhre i k l hinüber geführte Wärme zur Erhitzung des Waſſers beitrage, iſt die Zugröhre rundum mit einer Waſſerröhre umgeben, deren Durchſchnitt die Figur in m n o, p q r zeigt. Das Waſſer wird aus dem etwas höher ſtehenden Gefäße U V durch die Röhre t s zugeführt und die Röhre p x leitet es bis auf den Boden des Hauptgefäßes A B C D herab. Um die Luft auszulaſſen, iſt oben bei Y eine Röhre mit einem Hahne, und um das Waſſer abzulaſſen, unten eine Röhre bei Z. Der mit dieſem Inſtrumente anzuſtellende Verſuch beſteht darin, daß man eine abgewogene Quantität des Brennmaterials in den Ofen legt, dieſes ſchnell zum vollen Brennen bringt, dann die Zeit beobachtet, die erforderlich iſt, bis das Waſſer einen beſtimmten Hitzegrad erreicht, und ſobald dieſer erreicht iſt, das Feuer durch Verſchließen aller Oeffnungen erſtickt. Die Menge des verbrannten Brennmaterials giebt dann an, theils in welchem Grade das eine oder andre Material mehr Hitze giebt, theils wie ein verſchieden unterſtütztes, ſchnelles oder langſames Brennen ungleich wirkt u. ſ. w. Es iſt wohl einzuſehen, daß auch bei ſorgfältiger Ausführung des Verſuches hier noch viele Schwierigkeiten ſich einer genauen Beſtimmung entgegenſtellen, doch ſcheint dieſe Anordnung immer noch am beſten zu vergleichenden Verſuchen dienen zu können.

Die von Bull angeſtellten Verſuche ſind auf eine noch ſchwierigere Weiſe zu Stande gebracht, indem er ein kleines Zimmer von 8 Fuß Länge, Breite und Höhe mitten in einem größern bauen ließ, und durch einen in dem erſtern angebrachten Ofen den Grad der Wärme, den abgewogne Brennmaterialien hervorbrachten, beſtimmte. Dieſe Verſuche zeigen allerdings gerade diejenige Wirkung am meiſten unmittelbar, die gewöhnlich am wichtigſten für uns iſt; aber es ſcheint doch auch da ſchwierig, eine vollkommene Vergleichbarkeit der Verſuche zu bewirken. Peclet theilt die von Bull, Rumford und Andern bekannt gemachten Folgerungen mit, von denen ich hier nur ſehr wenig anführen kann.[1] Friſches Holz enthält immer viel Waſſer, das der Wärmeentwickelung hinderlich iſt, im Durchſchnitt 42 Procent, ja ſelbſt nach 8 — 12monatlicher Austrocknung an der Luft noch 25

[1] Ueber die Wärme und deren Anwendung in Künſten und Gewerben, von Peclet; überſetzt von Hartmann. Braunſchweig 1830.

Procent. Sehr ſtark ausgetrocknetes Holz bringt, wenn man gleiche Gewichte anwendet, nicht ſehr verſchiedene Wärmemengen hervor; aber die vollkommene Austrocknung iſt ſo vortheilhaft, daß ein nur gewöhnlich trockenes Fichtenholz nicht völlig $\frac{5}{6}$ der Wärme giebt, die man von ebenſo viel wiegendem, im Ofen vollkommen ausgetrocknetem Fichtenholze erhält, — der Aufwand an Holz iſt im letzten Falle zwar um ſo viel, als das Gewicht der feuchten Theile betrug, größer, aber dieß iſt noch lange nicht der ganzen Quantität des unvollkommen trockenen Holzes gleich, wenn das letztere gleich viele Wärme geben ſoll. Man kann rechnen, daß 1 Pfund ganz trockenes Holz ſo viel Wärme giebt, als nöthig iſt, um 40 Pfund Eis zu ſchmelzen. Ein gleiches Gewicht der beſten Holzkohlen giebt faſt doppelt ſo viel Wärme als trockenes Holz, aber die Kohlen ſind bei weitem nicht von gleicher Güte. Ein beſtimmtes Gewicht Steinkohlen giebt weniger Wärme als dem Gewichte nach ebenſo viel Holzkohle (nur etwa $\frac{2}{3}$ derſelben). Torf giebt weniger Wärme als trockenes Holz, Torfkohle aber mehr als Steinkohle. Baumöl, dem Gewichte nach gerechnet, giebt $\frac{5}{4}$ bis $\frac{3}{2}$mal ſo viel Wärme als Holzkohle, ebenſo weißes Wachs, und Waſſerſtoffgas giebt bei gleichem Gewichte dreimal ſo viel Wärme als Holzkohle. Für die Holzarten, die wir nach Klaftern und nicht nach Gewicht zu berechnen pflegen, ſind folgende Vergleichungen angegeben: Nußbaumholz giebt doppelt ſo viel Wärme als Birkenholz, Eichenholz etwas über $\frac{7}{4}$ mal, Eſchenholz faſt $\frac{13}{8}$mal, Rothbuchen- und Weißbuchenholz $\frac{4}{5}$mal, Ulmenholz faſt $\frac{5}{4}$mal, Fichtenholz $\frac{9}{8}$mal ſo viel als Birkenholz, die italieniſche Pappel dagegen nur $\frac{5}{6}$ deſſen was Birkenholz giebt, nämlich bei gleichem Volumen oder Klafter gegen Klafter gerechnet. Indeß ſo ſchätzenswerth dieſe Angaben ſind, ſo kommen doch, theils durch die Verſchiedenheit des Holzes, theils durch die Verſchiedenheit der Anwendung, in den Beſtimmungen des Werthes, den wir den Brennmaterialien beilegen müſſen, große Ungleichheiten vor. Oft iſt uns ein ſchnell brennendes Feuer angenehmer, wenn es auch im ganzen Verlaufe des Verbrennens nicht ſo viel Hitze giebt, oft verlangen wir ein lange dauerndes mäßig wärmendes Feuer u. ſ. w. [1]

Löſchen des Feuers.

Aber auch das Feuerlöſchen hängt von eben den Grundregeln ab, wie das Verſtärken des Feuers. Das Feuer erliſcht, wenn es keinen Zufluß von Sauerſtoffgas hat, und ein genaues Schließen aller Züge erſtickt daher das Feuer. Es erliſcht ferner, wenn man die brennende Fläche ſchnell abkühlt, und dieß geſchieht am wirkſamſten durch flüſſige Körper, die eine ſehr große Wärme zum Verdampfen fordern. Indem nämlich die brennende Oberfläche mit einer

[1] Nach Verſuchen verſchiedener Phyſiker wurden durch 1 Pf. nachſtehender Körper folgende Quantitäten Waſſer von 0 bis 100 Grad erwärmt: weißes Wachs $94\frac{4}{5}$, gereinigtes Rüböl 93, Baumöl $90\frac{4}{9}$, Schwefeläther $80\frac{3}{10}$, Holzkohlen 75, Steinöl $73\frac{2}{5}$, Talg $71\frac{8}{9}$, Coaks von 5 Procent Aſche 66, von 10 Procent Aſche $63\frac{4}{9}$, Kohlenwaſſerſtoffgas $62\frac{1}{8}$, Alkohol 62, gute Steinkohlen $60\frac{1}{2}$, Terpentinöl 45, trockenes Holz $36\frac{2}{3}$, Holz mit 20 Procent Waſſer $29\frac{4}{9}$, mit 25 Procent Waſſer 26, Torf 15, Kohlenoxydgas $18\frac{5}{9}$ Pfund. (M.)

dünnen Waſſerſchicht überzogen wird und dieſe beim Verdampfen einen ſehr großen Wärmeaufwand fordert, wird jene bis unter den Wärmegrad, wobei ſie ſich entzünden kann, abgekühlt. Es bedarf dazu nur einer mäßigen Quantität Waſſers, und der Strahl der Feuerſpritze wird vortheilhafter angewandt, wenn er eine ausgedehnte Fläche, die an ihr hinſtreicht, mäßig befeuchtet, als wenn er ſich mit großer Gewalt auf wenige Punkte ergießt. Wie wirkſam dieſe Abkühlung iſt, zeigt der Verſuch, wo man Waſſer in einem Papiere über der Lichtflamme erhitzt. Hier entzündet ſich das Papier nicht, weil das die andre Seite des Papiers berührende Waſſer doch höchſtens bis zur Kochhitze erwärmt wird, und dieſe Kochhitze iſt bei weitem geringer als diejenige, deren das Papier zum Entzünden bedarf. Daß die Löſchung zuerſt auf die unterſten Punkte gerichtet werden muß, iſt offenbar, da dieſe die höhern mehr erhitzen, als es umgekehrt der Fall iſt. Körper, die leicht entzündbar ſind, geſtatten eben darum kein leichtes Auslöſchen, weil hier eine viel tiefere Abkühlung nöthig iſt, als bei ſchwer entzündlichen Körpern. Indeß kann man ſelbſt mit brennbaren Körpern einen andern brennbaren Körper löſchen, wenn man nur ſchnell eine ſo große Quantität hinzubringt, daß die Abkühlung ſtark genug iſt, wobei dann überdieß auch dem Feuer der Zutritt der Luft geraubt wird. Hierauf beruht z. B. der Nutzen des Häckerlings oder kleingeſchnittenen Strohs, das man neuerlich ſehr empfohlen hat. — Die Anwendung von gewiſſen Subſtanzen, die dem Waſſer beigemiſcht werden, hat nicht ſowohl das Löſchen als die Verhütung des Feuers zum Zwecke, indem brennbare Stoffe mit unverbrennlichen verbunden werden ſollen. Dahin gehört insbeſondre das von Fuchs erfundene ſogenannte Waſſerglas, ein in ſiedendem Waſſer leicht auflösliches Glas aus 7 Theilen Kieſelerde und 3 Theilen Kali, das eine oberflächliche Verſteinerung des Holzes hervorbringt, ſo wie andre feuerfeſte Anſtriche, die jedoch in der Mehrzahl ihren Zweck nur unvollkommen erreichen.

Neunundfünfzigſte Vorleſung.

Flammen. Lampen-Erleuchtung.

Noch merkwürdigere Betrachtungen als die Erwärmung durch das Feuer bietet die Flamme ſelbſt uns dar. Die meiſten verbrennlichen Körper, welche mit Flamme brennen, geben bei der zerſtörenden Deſtillation Luftarten, welche Waſſerſtoff und Kohlenſtoff enthalten, und die Entzündung dieſer Luftarten bringt die Flamme hervor. [1] Nachdem nämlich bei unſern gewöhnlichen Lichtern durch eine fremde Erhitzung das Wachs oder der Talg im Dochte zum Brennen gebracht worden iſt, reicht dieſe Hitze hin, um die benachbarten

[1] Von allen Flammen gilt dieß nicht. Schwefel z. B. bringt im Brennen, durch die Verbindung des Schwefels mit dem Sauerſtoffe, Schwefelſäure hervor.

Theile zu ſchmelzen; ſie ziehen ſich nun in dem Dochte herauf, kommen hier in die völlige Gluth der Flamme, wodurch ſie zerſetzt und ſelbſt in Brand geſetzt werden, und damit iſt die Dauer des Proceſſes geſichert. Nur wenn durch ſtarke Abkühlung, am gewöhnlichſten durch einen ſtarken Luftzug, die Erhitzung unterbrochen wird, erliſcht das Licht, und hier findet man wieder, daß eine Wachslichtflamme leichter als eine ebenſo große und ganz gleiche Talglichtflamme und dieſe wieder viel leichter als eine Schwefelflamme auszublaſen iſt, weil die letztere bei ſehr geringer Wärme fortbrennt. Die noch matt brennende Flamme eines eben angezündeten Lichtes kann ſogar durch bloße Annäherung eines ſehr kalten Körpers ausgelöſcht werden, weil ſie ſo wenig Wärme entwickelt, daß der ganze Verbrennungsproceß durch die mindeſte Entziehung von Wärme aufgehoben werden kann.

Die Flamme brennt nur da, wo ſie mit der atmoſphäriſchen Luft in Berührung iſt, ſo daß ſie nur einen dünnen leuchtenden Mantel um den innern, zwar ſehr erhitzten, aber doch kein Verbrennen darbietenden Raum bildet. Man ſieht dieß, wenn man einen ſehr brennbaren Körper in die Mitte der Flamme bringt, wo er wohl ſchmilzt, aber nicht brennt; ſelbſt Phosphor in der Mitte einer großen Weingeiſtflamme brennt nicht, ſondern bleibt geſchmolzen und unentzündet, bis bei Verminderung des Weingeiſtes die kleiner werdende Flamme den Zutritt der Luft zu ihm geſtattet, wo er ſich dann entzündet. Dieſe hohle Kegelform der Flamme wird am beſten ſichtbar, wenn man ein aus ſehr dünnem Draht mit ſehr engen Maſchen verfertigtes Drahtgewebe von oben herab in die Flamme bringt; dann iſt nur der kreisförmige Umfang dieſer Durchſchnittsfläche leuchtend, der mittlere Raum dagegen enthält unverbrannte Beſtandtheile, die ſich beim Brennen fetter Körper als Ruß anlegen. Die Flamme nimmt eine ſpitzige Form an. Der hinaufſteigende Strom erwärmter Luft, welcher unten an den Seiten des mit brennbaren Luftarten erfüllten Raumes in der Breite, welche die entwickelten brennbaren Luftarten einnehmen, zurückgehalten wird, drängt ſich oberwärts, wo dieſe Raum finden, ſich höher hinauf auszudehnen, und wo ſie zum Theil ſchon verzehrt ſind, von allen Seiten nach der Mitte; hier wird der hinaufgehende Strom dieſer Luftarten verengert und endlich ſchmal genug und hinreichend mit atmoſphäriſcher Luft gemiſcht, um durch und durch brennend den Kegel zu ſchließen. Im untern Theile der Flamme, wo die zerſtörende Deſtillation des fetten Körpers in unſern Lichtern und Lampen erſt ſtatt findet, iſt ſehr wenig Zerſetzung der erzeugten Luftarten und eine Menge von Kohlenſtoff legt ſich hier, wenn man die Flamme unterbricht, als Ruß an. Höher hinauf, wo die Verbrennung am lebhafteſten fortgeht und wo der blaue Theil der Lampenflamme aufhört, iſt die Hitze der Flamme am größten und der unverbrannt ſich anlegenden Theile ſind weniger, obgleich bei der gewöhnlichen Licht- und Lampenflamme noch erhebliche Mengen unverbrannter Stoffe oberhalb der Flamme als Rauch verloren gehen. Nähert man zwei Flammen einander, ſo brennen ſie höher auf und geben ein ſtärkeres Licht, offenbar weil

die ſich gegenſeitig unterſtützende Hitze noch Theile verbrennt, die an der Oberfläche der einzelnen Flamme, unvollkommen verbrannt, verloren gingen.

Da die Mitte der Flamme aus Mangel an Oxygen nicht leuchtet, ſo begreift man leicht, wie viel gewonnen wird, wenn man einen Luftſtrom in der Mitte der Flamme hinaufgehen läßt, oder wenn man einen cylindriſchen Docht anwendet, wie dieß in den Argand'ſchen Lampen der Fall iſt. Dieſe große Verbeſſerung der Lampen, die Argand 1783 bekannt machte, hat nicht bloß vor den gewöhnlichen, ſondern ſelbſt vor den bloß bandförmig nach einer Richtung ausgedehnten Dochten den Vorzug. Der Luftzug wird nämlich in dem ſtark erhitzten innern Raume der Flamme mehr befördert, und dieſe Erhitzung befördert auch ſchon an ſich das vollſtändige Verbrennen der aus dem Oele entwickelten Luftarten. Der Vortheil, den jener innere Luftzug gewährt, wird noch vermehrt, wenn man eine gläſerne, unten und oben offene Röhre (einen Cylinder) die Flamme umgeben läßt. Dieſe befördert, indem ſie ſelbſt erhitzt wird, den raſchen Zutritt des Sauerſtoffgaſes, und nöthigt den hinaufgehenden Luftſtrom, ſich nahe an der Flamme hin zu drängen und ſie möglichſt vollkommen mit Sauerſtoff zu nähren. Und ſo iſt es wohl einzuſehen, warum dieſe Argand'ſchen Lampen alles Brennbare ganz verzehren, ſo daß ſich oberhalb der Flamme gar kein Rauch findet, ſondern Waſſerdampf (aus der Vereinigung der Hydrogen mit dem Oxygen) und kohlenſaures Gas (aus der Vereinigung des Oxygen mit dem Kohlenſtoffe) die einzigen Producte des Verbrennens ſind.

Rumford hat dieſe Anordnung dadurch noch vollkommener gemacht, daß er die Lampen vielflammig machte. Dochte nämlich, die neben einander in angemeſſenen Entfernungen ſtehen und die Rumford als platte Dochte anbringt, verſtärken, indem ſie zugleich brennen, den Luftzug, und die entſtandene Hitze beſchleunigt die Zerſetzung aller brennbaren Beſtandtheile ſo ſehr, daß das Licht noch viel ſtärker iſt, als bei dem einfachen cylindriſchen Dochte. Rumford giebt von ſeiner Lampe mit vier platten, $1\frac{3}{5}$ engl. Zoll breiten Dochten an, daß ſie mehr Licht als ſechs ſehr ſchön brennende Argand'ſche Lampen gab und bei ihrem vollkommenſten Glanze die Stelle von 40, gleichſam in einen Punkt vereinigten, Wachslichtern vertrat. Dabei iſt dann freilich auch der Aufwand an Oel größer, aber wenigſtens lange nicht ſo groß, als es das Verhältniß des Lichtes zu fordern ſcheint. Rumford hat mehrere Verſuche mit dem Photometer angeſtellt, um die Zunahme des Oelverbrauchs bei vermehrter Helligkeit zu finden. Wenn er eine Argand'ſche Lampe durch Herunterziehen des Dochtes ſo lichtſchwach machte, das ſie nur einem Wachslichte gleich leuchtete, ſo brauchte ſie an Gewicht $2\frac{1}{4}$mal ſo viel Oel als das Wachslicht an Wachs verbrannte; gab man ihr durch Vergrößerung des Dochtes die Helligkeit von 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 Wachslichtern, ſo ſtieg der Oelverbrauch nur auf $2\frac{3}{4}$, $3\frac{1}{20}$, $3\frac{3}{5}$, $4\frac{1}{20}$, $4\frac{2}{5}$, $4\frac{7}{10}$, $5\frac{1}{7}$, $5\frac{3}{5}$, ſo daß ſie alſo bei einer Lichtſtärke gleich 9 Wachslichtern nur $5\frac{3}{5}$mal ſo viel Oel als ein Wachslicht an Wachs verbrannte, oder bei dem 6fachen Glanze erſt doppelt ſo viel, bei dem

9fachen Glanze nur $2^1/_2$ mal ſo viel Oel als bei dem einfachen Glanze verzehrte. Da Rumford verſichert, daß bei allen dieſen Verſuchen eine vollſtändige Verbrennung ſtatt fand, ſo iſt es allerdings auffallend, daß die Lichtmenge in ſo viel größerem Verhältniß als das Brennmaterial wächſt. Offenbar iſt das Licht da ſtärker, wo die Wärme in einem kleinen Raume recht bedeutend iſt, aber warum dieſes Concentriren der Wärme Licht frei macht, iſt uns noch ganz unbekannt.

Etwas Aehnliches findet bei Talg- und Wachslichtern ſtatt; ſie verbrauchen zwar am wenigſten von dem fetten Körper, wenn die Flamme klein iſt, geben aber dann auch ſo wenig Licht, daß z. B. Rumford nur $^1/_{16}$ des Lichtes bei $^1/_4$ des Wachsverbrauchs erhielt, wenn er ein ſehr dünnes Wachslicht in Vergleichung gegen das vorhin zum Maaße gebrauchte anwandte. Die Wärme, welche Rumford mit ſeinem Calorimeter beſtimmte, indem er die Lichtflamme unter die Zugröhre ſetzte, war der Menge des verbrannten Wachſes ſehr nahe entſprechend.

Bei andern Vervollkommnungen der Lampen, darin beſtehend, daß man ihr Licht durch zurückwerfende Spiegel verſtärkt, daß man es durch einen matt geſchliffenen Glasſchirm gleichmäßiger vertheilt, wobei in der ganzen Erleuchtung wenig verloren geht, indem dieſe, von allen Punkten des Schirms ausgehend, beinahe ſo viel beträgt, als bei der freien Flamme, deren großer Glanz auf einen kleinen Raum beſchränkt iſt, u. ſ. w. will ich hier nicht verweilen.[1]

Gaserleuchtung.

Die Bemerkung, daß es die aus dem brennbaren Körper entweichenden brennbaren Luftarten ſind, welche die Flamme hervorbringen, leitete ſchon vor längerer Zeit darauf hin, einzuſehen, daß beim Verkohlen des Holzes im Freien eine Menge brauchbarer Stoffe verloren gehe, und daß es daher vortheilhaft ſey, das Holz in geſchloſſenen Räumen der Hitze und ſo der Verkohlung auszuſetzen, damit theils die im Rauche fortgeführten, bei dieſer Hitze noch nicht brennbaren Körper (die Holzſäure zum Beiſpiel) aufgefangen, theils die brennbaren Luftarten benutzt werden könnten. Auf dieſer Betrachtung beruhten die Thermolampen, die Lebon ſchon 1799 ſo anwandte, daß die entweichenden Gasarten zur Erleuchtung gebraucht wurden; Murdoch hatte ähnliche Verſuche ſchon 1792 angeſtellt, ohne ſie damals weiter zu verfolgen. Dieſe Erfindung, die auch in Deutſchland nachgeahmt wurde und deren Nutzen, theils um durch die brennbaren Luftarten zu erleuchten, theils um das Feuer zu verſtärken, in welches man ſie nach der Entwickelung aus den in geſchloſſenen Räumen verkohlten Holzſtücken leitete, man ſehr wohl anerkannte, ward indeß nur wenig benutzt, bis Winſor durch eine Reihe von Verſuchen ſich in den Stand geſetzt fand, die Sache mehr ins Große zu treiben, und ſich 1804 ein

[1] Unter den vielen in der neueſten Zeit angegebenen Conſtructionen von Lampen mag hier die des Engländers Beale erwähnt werden, welche mit Steinkohlentheer geſpeiſt wird, der bei gleicher Flammengröße nach Faraday ebenſo viel Licht liefert als $4^1/_2$ Argandſche Lampen oder 35 Wachslichte von einem Zoll Durchmeſſer und in acht Stunden nur etwa 6 Pfenn. koſtet. Zur Beleuchtung von Fabrikgebäuden iſt dieſe Lampe ſehr geeignet. (M.)

Patent auf eine Gaserleuchtung durch das in den Steinkohlen erhaltene Gas geben ließ. Seitdem hat dieſe Gaserleuchtung großes Aufſehen gemacht, und man hat ſowohl das aus Steinkohlen, als das aus Oelen und Thran entwickelte Gas dazu angewandt, indem man von den Gefäßen, die das Gas enthalten, Röhren zu den Punkten hin, wo man eine Flamme fordert, leitet, hier das Gas aus einer Oeffnung hervordringen läßt und die Luft entzündet, die dann, nach Verſchiedenheit der Oeffnungen, größere oder kleinere Flammen giebt.

Die brennbaren Körper enthalten alle Kohlenſtoff, Waſſerſtoff und meiſtens nur eine geringe Menge Sauerſtoff, welche Stoffe bei der Zerſtörung des Körpers durch die Hitze ſich in andern Verhältniſſen wieder verbinden. Aus den bei einer noch nicht bis zum Brennen gehenden Hitze erzeugten Stoffen gehen bei größerer Hitze jene Beſtandtheile hervor, die ſich theils zu kohlenſaurer Luft (Kohlenſtoff und Sauerſtoff), theils zu brennbaren Luftarten (Kohlenſtoff und Waſſerſtoff) verbinden. Kohlenwaſſerſtoffgas und ölbildendes Gas gehen, nach Verſchiedenheit des Miſchungsverhältniſſes, aus den letztern beiden hervor, und beide Luftarten ſind zum Erleuchten ſehr wohl geeignet. Die durch Zerſetzung der Steinkohlen hervorgebrachten Luftarten geben ein weit ſchöneres Licht als die Steinkohlen ſelbſt, weil ſie von den übrigen Stoffen, die beim Verbrennen der Steinkohlen mit entbunden werden, ſchon gereinigt ſind. Die ſchönen Flammenſtröme, die wir aus den brennenden Steinkohlen zuweilen hervorbrechen ſehen, ſind, nach Accum's Bemerkung, dieſen Gasarten zuzuſchreiben; aber zwiſchen ihnen brechen der unvollſtändig zerſetzte Rauch, der eine theerige Subſtanz giebt, Waſſerdampf und unverbrennliche Luftarten hervor, und dieſe verfinſtern den Glanz jener Flammen.

Auf ähnliche Weiſe verhält es ſich mit dem Oele, ſo daß auch das aus Oel hervorgehende, aus Kohlenſtoff und Waſſerſtoff zuſammengeſetzte Gas ein ſchöneres, überdieß auch gleichförmigeres Licht giebt, als das Oel ſelbſt. Nach den genauen Vergleichungen von Preuß iſt die Beleuchtung mit dem aus Oel entwickelten Gas wohlfeiler und ſchöner, als die mit dem Gas aus Steinkohlen, und die Wohlfeilheit wird noch dadurch befördert, daß man ſchlechtes Oel, ſelbſt Thran, anwenden kann, da die übeln Gerüche ohnehin durch Reinigen der Gasarten weggeſchafft werden müſſen. Hierbei iſt jedoch wohl zu berückſichtigen, daß die Preiſe, zu denen einerſeits Oel und Theer, anderſeits Steinkohlen zu haben ſind, an verſchiednen Orten ſehr verſchieden ſeyn müſſen, ſo daß an dem einen Orte das eine, an dem andern das andre Gas wohlfeiler zu ſtehen kommen wird. Nach den Angaben von Preuß geben 15 Pfund Oel ungefähr 200 Cubikfuß Gas (und dieſe ſollen ungefähr ſo viel Licht geben als 700 Cubikfuß Steinkohlengas); eine derjenigen Brennöffnungen, die ein Licht, einer kleinern Argand'ſchen Lampe oder 10 Talglichtern zu 1/6 Pfund gleich, geben, braucht ſtündlich 5/4 Cubikfuß jenes Oelgaſes, und es läßt ſich alſo überſehen, mit wie mäßigem Aufwande die Erleuchtung erhalten wird. Das Oel wird hier mit mehr Vortheil als in der Argand'ſchen

Lampe verwandt, und man kann annehmen, daß die hervorgebrachte Erleuchtung durch die letztere nur $^3/_4$ von derjenigen iſt, die das Gas, bei gleichem Aufwande von Oel, bewirkt. — Ein Pfund gute Wachslichter giebt nur ungefähr halb ſo viel, ein Pfund gute Talglichter nur ungefähr $^2/_5$ ſo viel Erleuchtung, wenn man Zeit und Helligkeit des Brennens gehörig vergleicht, als ein Pfund zur Gaserleuchtung verwendetes Oel.

Der Vorzug des aus Oel hervorgebrachten Gaſes liegt vorzüglich darin, daß die Menge der beiden Gasarten, die zum Leuchten am wichtigſten ſind, des ölerzeugenden Gaſes und des Kohlenwaſſerſtoffgaſes, hier größer, die Menge des dunkel brennenden Waſſerſtoffgaſes und der ebenfalls unvortheilhaften Luftarten, nämlich des gasförmigen Kohlenſtoffoxyds und des Stickgaſes, viel geringer iſt. Nach Henry's Verſuchen enthält das Oelgas oder das aus der Zerſetzung des Oeles gewonnene Gas in 100 Theilen 38 Theile ölerzeugendes Gas und 46 Theile Kohlenwaſſerſtoffgas, ſtatt daß im Steinkohlengas nur 7 Theile jener, 56 Theile dieſer Luftart vorkommen; die minder oder gar nicht zum Leuchten beitragenden Luftarten betragen alſo dort nur 16, hier 37 Theile. Die große Menge des ölerzeugenden Gaſes, welches unter allen brennbaren Luftarten am meiſten Licht giebt und zugleich am ſchwerſten iſt, begründet hier den großen Vorzug des aus Oel gewonnenen Gaſes.

Im Allgemeinen verdanken, nach Davy's Bemerkung, die Flammen ihren Glanz nicht dem Waſſerſtoff, ſondern den darin enthaltenen dichteren Beſtandtheilen, wozu auch der Kohlenſtoff mit gehört. In unſern gewöhnlichen Lichtflammen iſt der Glanz da am ſtärkſten, wo der im untern Theile noch zum Abſetzen als Ruß vorhandene Kohlenſtoff zum vollen Glühen und Verbrennen kommt; die Gasflammen beſitzen nur dann einen ſtarken Glanz, wenn ſie aus ſchweren brennbaren Luftarten beſtehen, in denen ſich viel Kohlenſtoff befindet; Zinkoxyd, in eine Flamme von Schwefel oder Waſſerſtoffgas gebracht, giebt dieſer ein ungemein ſtarkes Licht. Die Hitze der Flamme ſteht mit dieſem Glanze in keinem Verhältniſſe, da die unſcheinbare Flamme des aus Waſſerſtoff und Sauerſtoff gemiſchten Gaſes (Knallgas) eine ausgezeichnet ſtarke Hitze hervorbringt.[1]

Die Anordnung der zur Gaserleuchtung nöthigen Apparate will ich nur kurz beſchreiben. Sie beſtehen aus drei Theilen, nämlich aus dem Gefäße, worin durch ſtarke Hitze das Gas entwickelt wird, aus einem zweiten Gefäße, worin es gereinigt wird, und aus dem dritten, worin es geſammelt und den Brennöffnungen zugeleitet wird. Für den erſten Zweck bedient man ſich bei dem Steinkohlengaſe einer eiſernen Retorte, worin die Steinkohlen durch ein unter der Retorte angebrachtes Feuer erhitzt werden, damit alle flüchtigen

[1] Eine ungemeine Lichtintenſität, verbunden mit großer Hitze, beſitzt die durch Sauerſtoffgas angefachte Flamme des Waſſerſtoffgaſes, wenn ſie auf einen Kalkcylinder (am beſten aus reiner Kreide) gerichtet wird. Die Wirkſamkeit des letztern bemerkte der Irländer Drummond, der ſich aber ſtatt des Waſſerſtoffgaſes des weniger wirkſamen Weingeiſtes bediente. Man hat dieſe helle Flamme bereits mehrfach angewandt: 1) zu Signalen, 2) auf Leuchtthürmen, 3) für Sonnen- und Lampenmicroſcope. (M.)

Beſtandtheile durch die zum zweiten Gefäße führende Röhre ausgetrieben werden. Bei der Bereitung des Oelgaſes bedarf man einer kleinern Retorte, die auf 600 Grad der Centeſimalſcale erhitzt wird und in der ſich das in einem langſamen Strome zufließende Oel ſogleich zerſetzt. Das zweite Gefäß iſt bei dem Steinkohlengas beſtimmt, das Theer und die übrigen flüſſigen Subſtanzen aufzunehmen und das Gas, welches hier durch Waſſer mit Kalk gemiſcht geht, von der nicht mit brennbarer Luft verbundenen Kohlenſäure und andern Stoffen zu reinigen. Für das Oelgas hat man ebenfalls am beſten gefunden, die Dämpfe und Luft ziemlich weit durch Waſſer fort zu leiten, damit das Gas von den Dämpfen befreit als reines Gas übergehe. Das dritte Gefäß iſt (XII. Fig. 7) das unten offene Gaſometer AB, das mit ſeiner Oeffnung AB in das Waſſer im Gefäße M, M getaucht iſt und durch die Gewichte C, D beinahe im Gleichgewichte gehalten wird; die vom zweiten Gefäße herkommende Röhre XXX füllt das Gaſometer und iſt oben mit der mit Waſſer gefüllten Haube Y bedeckt, damit das in dem Raume EF geſammelte Gas nicht zurück in dieſe Röhre, ſondern in die offene Röhre GHIK bringe; öffnet man dann den Hahn K, ſo ſtrömt das Gas zu den Oeffnungen L, L, L hin, wo es entzündet wird und mit ſchöner weißer Flamme brennt.

Davy's Sicherheitslampe.

Davy's auch in wiſſenſchaftlicher Beziehung ſehr ſchätzenswerthen und gehaltreichen Unterſuchungen über die Flamme, die ich ſchon mehrmals angeführt habe, gewinnen ein noch viel anziehenderes Anſehen durch die Veranlaſſung, die ihn zu denſelben führte und durch die nützliche Erfindung, zu welcher ſie ihn leiteten. Die Veranlaſſung gaben die mit jedem Jahre zahlreicher werdenden Unglücksfälle, die ſich durch Entzündung brennbarer Luftarten, ſchlagender Wetter, wie die Bergleute ſie nennen, in den engliſchen Kohlenbergwerken ereigneten. Je tiefer dieſe Kohlenſchachte hinabgeführt werden, deſto öfter muß es ſich ereignen, daß die aus dem Geſteine ſo oft hervordringenden unathembaren Luftarten, wegen des ſo ſehr erſchwerten Zutrittes der Luft von oben und wegen der immer größern Schwierigkeit eines die Luft erneuernden Luftzuges, ſich anſammeln und gefährliche Erfolge hervorbringen. Unter dieſen Luftarten, die ſich vorzüglich aus alten verlaſſenen Gruben, aber auch ſonſt aus den Spalten der Stein- und Steinkohlenſchichten entwickeln und zuweilen in ungewöhnlich reichlichem Maaße hervorbringen, ſind die brennbaren die häufigſten und die gefährlichſten, weil ſie, mit atmoſphäriſcher Luft gemiſcht, eine Exploſion veranlaſſen, ſobald das Grubenlicht des Bergmannes ſie erreicht. Durch dieſe Exploſion werden oft ganze Strecken der Bergwerke verſchüttet, die in der Tiefe arbeitenden Bergleute aber werden entweder durch die Exploſion ſelbſt verſtümmelt oder getödtet, oder durch das Einſtürzen der Zugänge aller Hülfe beraubt. Dieſe immer häufiger werdenden Unglücksfälle veranlaßten den dringenden Wunſch, dem Bergmanne, der ebenſo wenig die Lampe entbehren kann, als er Mittel beſitzt, den Ort, wo ſich

ſchlagende Wetter geſammelt haben, voraus zu erkennen, eine mit der äußern Luft nicht in unmittelbarer Verbindung ſtehende Lampe zu verſchaffen. Dieſe Abſperrung der brennenden Lampe von der äußern Luft ſchien große Schwierigkeit zu haben, da man die Lampe doch mit atmoſphäriſcher Luft unterhalten mußte, um ſie brennend zu erhalten, und jede Anordnung, die dieſe nur aus geſchloſſenen Gefäßen zuführte, mit zu großen Unbequemlichkeiten verbunden war. Die Wichtigkeit der Entdeckung eines Sicherungsmittels gegen jene großen Gefahren bewog Davy, die Umſtände, unter denen die explodirenden Gasarten zur Exploſion kommen, genau zu erforſchen, und da fand er, daß dieſe Exploſion nur erfolge, wenn ein hoher Grad von Erhitzung ſtatt findet. Vorzüglich erregte die Erfahrung, daß die Flamme unſerer Lampen durch ein Gewebe aus ſehr dünnen Metalldrähten nicht hindurch dringe, wenn die Oeffnungen klein ſind, ſeine Aufmerkſamkeit, und er bemerkte, daß bei ſehr feindrähtigen und eng gewebten Drahtnetzen dieſes Zurückhalten der Flamme ſo vollkommen ſtatt fand, daß es ſelbſt durch das Glühendwerden des Drahtnetzes nicht aufgehoben ward. Da die brennbaren Dämpfe, der Rauch und die Miſchung brennbarer Luftarten, aus deren Entzündung die Flamme entſteht, durch das Gewebe dringen und ſich vermittelſt einer hinzugebrachten Flamme entzünden laſſen, obgleich ſie ſich durch die an der andern Seite des Gewebes brennende Flamme nicht entzünden, ſo ſchloß Davy, daß die Hitze des dünnen Drahtes ſelbſt im Glühen nicht ſo groß ſey, um das Entzünden der Luftmiſchung bewirken zu können, und daß die Abkühlung es ſey, wodurch das Drahtgewebe die Flamme zurückhält. Auf dieſe Verſuche und die daraus hergeleitete Anſicht geſtützt ließ er einen die Lampe ganz umſchließenden Cylinder von Drahtgewebe verfertigen, ſo daß die äußere Luft durch die engen Oeffnungen des Gewebes zutreten, aber auf keinem andern Wege zur Flamme gelangen konnte; dieſe Lampe brachte er geradezu in eine Knallluft, und hatte das Vergnügen zu ſehen, daß die Exploſion ſich nicht bis auf die Luft außerhalb des Drahtcylinders verbreitete. Bringt man nämlich dieſe Lampe zuerſt in eine nur mit wenigen brennbaren Luftarten gemiſchte Atmoſphäre, ſo vergrößert ſich bloß die Flamme; ſteigt die Menge der brennbaren Luft auf ein Zwölftel des Raumes der Luft, ſo erfüllt ſich der ganze Drahtcylinder mit einer blauen Flamme, worin die Lampenflamme mit hellerem Lichte fortbrennt; beträgt die brennbare Luft ein Fünftel des Ganzen, ſo erfüllt ſich der ganze innere Raum des Drahtcylinders mit ſtarkem Lichte, aber auf den umgebenden Raum dehnt ſich dieſe Entzündung nicht aus. So war alſo die Entdeckung einer Sicherheitslampe für den Bergmann gemacht, indem er auch mitten in den ſchlagenden Wettern nur die Entzündung derſelben im Innern ſeiner Lampe wahrnimmt, und ſelbſt wenn die Menge der brennbaren Luft noch mehr zunimmt, nur das als ſchlimmſten Fall zu fürchten hat, daß die Luftmiſchung nicht mehr genug Sauerſtoff, um fortzubrennen, enthält, wo dann ſeine Lampe erliſcht.

Damit das Drahtnetz den Zweck, die Flamme zurückzuhalten, erfülle,

muß es mit vollkommener Sorgfalt gemacht und unterhalten ſeyn, damit nirgends eine größere Oeffnung ſich finde; der Draht muß ſo fein ſeyn, daß er nur ungefähr $1/_{40}$ Zoll ſtark iſt; denn obgleich, wie Davy ſagt, auch ſtärkerer Draht im Glühen noch nicht die explodirenden Wetter entzündet, ſo iſt es doch ſicherer, einen dünnen Draht zu wählen, der weniger Hitze abgeben kann, vor allem aber müſſen die Maſchen ſo eng ſeyn, daß ſie nur $1/_{20}$ Zoll Zwiſchenraum laſſen, damit nicht die in die Oeffnungen eindringende Flamme, in der Mitte zu wenig abgekühlt, durch das Gewebe dringen kann. Dieſe Lampe (**XII. Fig. 8**) hat unten ihr Oelgefäß, das abgeſchraubt und mit Oel gefüllt werden kann; dann zündet man die Lampe an und verſchließt durch das Aufſchrauben des Drahtcylinders jeden andern Zutritt der äußern Luft.

Die Erfahrung hat an zahlreichen Beiſpielen gezeigt, daß die Sicherung durch dieſe Davy'ſche Sicherheitslampe als faſt vollkommen angeſehen werden kann, und ſie iſt daher auch außer England in Bergwerken, die durch ſchlagende Wetter Gefahren darbieten, eingeführt. Sie hat in Kohlenbergwerken, wo man Gegenden kannte, die nie ohne Gefahr beſucht werden konnten und wo der Bergmann kein anderes Licht als die einzelnen Funken eines Feuer ſchlagenden Stahles hin bringen durfte, den entſchiedenſten Nutzen gewährt und iſt als eine der ſegenvollſten Erfindungen anerkannt worden. Nach Bleſſon's Erfahrungen ſchützt ſie auch gegen die Entzündungen des Schießpulverſtaubes, der in Pulvermühlen die Luft erfüllt, und iſt daher da, wo man ſolche Räume im Dunkeln beſuchen muß, anwendbar. Ebenſo kann ſie die ſo oft vorgekommenen Entzündungen großer Maſſen ſpirituöſer Flüſſigkeiten, deren Dämpfe ſo leicht die Entzündung veranlaſſen, verhüten, wenn man ſich ſtatt der gewöhnlichen Lichter auch dort der Sicherheitslampe bedient.

Gegen Davy's Theorie, daß die Abkühlung hier das Brennen hindere, hat man mancherlei Einwendungen gemacht, die mir aber doch nicht erheblich genug ſcheinen, um Davy's Anſicht zu verlaſſen. Folgende zwei Einwendungen ſcheinen mir die bedeutendſten. Erſtlich, man könne die Fälle, wo Lichter nach Davy's Meinung durch Abkühlung erlöſchen, nicht alle ſo erklären, weil ja oft ein ausgeblaſenes Licht ſich ſogleich von ſelbſt oder durch Anblaſen wieder entzünde. Bekanntlich tritt das aber nur dann ein, wenn ein ziemlich großer glühender Docht da iſt, welcher Hitze genug giebt, um die Sauerſtoffluft in dem Maaße zu zerſetzen, daß das neue Entflammen durch die erzeugte Hitze ſtatt finden kann; wird dieſes durch Anblaſen befördert, ſo muß, glaube ich, dieſes Anblaſen ſchwächer als dasjenige ſeyn, wodurch man das Licht zum Erlöſchen brachte. Zweitens, obgleich im gewöhnlichen Falle die Flamme nicht durch das Drahtnetz dringe, ſo könne dieß doch geſchehen, wenn die brennenden Gasarten mit bedeutender Gewalt durch dieſe Oeffnungen hervordringen. Dieß beruht aber wohl darauf, daß beim Glühen des Drahtes, welches jenem Hindurchdringen der Flamme vorausgeht, die Abkühlung der Luftarten bis unter die Entzündungshitze einige Zeit fordert; dringt nun das

brennende Gas mit keiner erheblichen Kraft hervor (gewöhnlich dringt wohl eher das äußere hinein), ſo vergeht Zeit genug, um die geringe, nöthige Abkühlung noch eintreten zu laſſen; wird es aber mit Gewalt durchgedrängt, ſo findet dieſe Abkühlung nicht vollkommen ſtatt. Da dieſe Erklärungen mir ausreichend ſcheinen und der Fall des gewaltſamen Hervordrängens aus dem Innern der Lampe nie ſtatt findet, alſo die practiſche Anwendbarkeit nicht von dieſem Einwurfe abhängt, ſo will ich Sie hiermit und mit andern Meinungen über die Urſache dieſes Zurückhaltens der Flamme (die Drähte übten eine abſtoßende Kraft auf die Flamme aus, die zum Beſtehen der Flamme nöthigen Luftſtrömungen würden unterbrochen u. ſ. w.) nicht unterhalten.[1]

Gebrauch der Flamme vor dem Gebläſe. Newman'ſches Gebläſe.

Die Flamme bietet uns durch ihre Fähigkeit, Wärme zu erregen, noch eine neue Reihe von Erſcheinungen dar. Bekanntlich wird die Lampenflamme angewandt, um kleine Körper zu ſchmelzen, Glas in andere Formen zu bringen, indem man bei den Glasbläſerarbeiten durch Schmelzen und Blaſen bald an die Röhre eine Kugel anbläſt, bald Aenderungen der Form bewirkt u. ſ. w. Um dieſe Anwendungen der Flamme zu machen, bedient man ſich der Gebläſe, deren Zweck ein doppelter iſt: erſtlich die Hitze der Flamme auf einen Punkt zu vereinigen, zweitens dieſe Hitze auch wirklich zu verſtärken. Daß ſchon das erſtere beitrage, die Wirkung der Flamme zu verſtärken, hat Rumford dadurch gezeigt, daß er eine Flamme vermittelſt eines Stromes kohlenſaurer Luft anblies und auch da das Glühen und Schmelzen des Glaſes bewirkte; indeß hat er gewiß Unrecht, wenn er bloß in dieſer Gewalt des Antreffens der Flamme und in dieſer Richtung auf einen beſtimmten Punkt, aber gar nicht in einer Vermehrung der Wärmeentwicklung ſelbſt, den Grund der vor dem Löthrohre oder vor dem Gebläſe verſtärkten Wirkung der Flamme ſucht. Daß vielmehr die Wirkung der Flamme durch die Zuführung von Sauerſtoffgas noch mehr verſtärkt wird, zeigt die Anwendung der Sauerſtoffgebläſe, aus denen nämlich Sauerſtoff gegen die Weingeiſtflamme getrieben wird, welche dann eine viel größere Wirkung leiſtet.[2]

Um dieſen Gebläſen eine längere Zeit dauernde, gleiche Stärke zu geben, gerieth Newman auf den Gedanken, comprimirte Luft anzuwenden und dieſe in einem ſehr dünnen Strahle auf die Weingeiſtflamme zu richten, welche dadurch gleichmäßiger als bei andern Gebläſen ihre Dienſte leiſtete. Aber dieſes

[1] Bei heftiger Bewegung der brennbaren Luft iſt die Sicherung doch nicht vollkommen, weil dann die Flamme durch die Oeffnungen des Geflechts getrieben wird. Man hat daher neuerlich in England die Lampe in einen gläſernen Cylinder eingeſchloſſen, der unten durch Drahtgeflecht verſchloſſen iſt, oben aber eine freie Oeffnung hat. Nach einer Beobachtung von Graham wird das Drahtgeflecht weit undurchdringlicher für die Flamme gemacht, wenn es zuvor in eine Alkalilöſung getaucht wird, die es zugleich gegen das Roſten ſchützt. (M.)

[2] Die Wirkung wird verſtärkt, wenn die zuſtrömende Luft ſchon heiß iſt und alſo nicht erſt auf Koſten des brennenden Körpers erhitzt zu werden braucht. In der neuern Zeit hat man daher die Anwendung der heißen Luft bei den Schmelzöfen ſehr zweckmäßig gefunden und dadurch eine bedeutende Erſparniß an Brennmaterial erzielt. (M.)

Compreſſionsgebläſe führte Newman noch zu einer zweiten, wichtigern Verbeſſerung, indem er Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas, in dem Verhältniß gemiſcht, welches zur Bildung des Waſſers nöthig iſt, anwandte. Früher ſchon hatte Hare eine große Verſtärkung der Hitze der Weingeiſtflamme dadurch erhalten, daß er aus zwei getrennten Gefäßen, durch zwei Röhren zugleich, die ſich in einem Mündungsſtücke vereinigten, beide Gasarten zuſtrömen ließ; er hatte mit dieſer Vorrichtung ſchwer ſchmelzbare Körper geſchmolzen und andere große Wirkungen hervorgebracht. Daß eine in dem zur Waſſerbildung angemeſſenen, genau richtigen Verhältniſſe gemiſchte Verbindung beider Luftarten dieſen Zweck noch vollſtändiger erfüllen müſſe, ließ ſich erwarten; aber die Anwendung eines ſolchen Gebläſes ſchien großen Schwierigkeiten unterworfen zu ſeyn. Es iſt nämlich bekannt, daß zwar eine reine brennbare Luft, es ſey Waſſerſtoffgas oder Kohlenwaſſerſtoffgas, wenn ſie aus einer Oeffnung hervordringt, ohne Gefahr angezündet werden kann, daß aber eine Miſchung dieſer Luftarten mit Sauerſtoffgas ſogleich eine gefährliche Exploſion hervorbringen würde, wenn man dieſe ebenſo behandeln wollte. Bei jenen Luftarten kann nur das in die atmoſphäriſche Luft hervorſtrömende Gas ſich entzünden und eine Flamme bilden, ein Hineindringen der Flamme in den großen Gasbehälter iſt aber unmöglich, weil ſie des Sauerſtoffs, der dort nicht vorhanden iſt, zum Fortbrennen bedarf; hier hingegen bietet jedes Theilchen im Innern des Gasbehälters beide zum Verbrennen nöthigen Stoffe dar; die an der Mündung angezündete Flamme ergreift daher die ganze Miſchung und das mit einer ſtarken Exploſion erfolgende Verbrennen des ganzen Luftvorrathes iſt ſchnell, ja augenblicklich vollendet, weshalb dieſe Miſchung Knallgas und jenes Newman'ſche Gebläſe ein Knallgasgebläſe heißt. Dieſe Gefahr zu entfernen, fand Newman in Davy's Entdeckung, daß die Flamme nicht durch enge Oeffnungen dringe, ein wenigſtens in den meiſten Fällen ausreichendes Mittel. Er ließ nämlich aus einem langen Haarröhrchen die gemiſchte Luft hervordringen und fand, daß dieſe dann, am ſicherſten wenn der Luftſtrom recht lebhaft ausfloß, nicht in den Gasbehälter zurückbrannte; dieſes lebhafte Hervordringen fand aber hier allemal ſtatt, da das Knallgas vermittelſt der Luftpumpe comprimirt wurde.

Die durch dieſen entzündeten Luftſtrom bewirkte Hitze übertrifft alles, was andere Gebläſe geleiſtet hatten, bei weitem, und zwar vorzüglich dann, wenn die Miſchung aus 2 Raumtheilen Waſſerſtoffgas und 1 Raumtheil Sauerſtoffgas beſteht, indem dann keine Luftart im Uebermaaß vorhanden iſt und beide im Verbrennen völlig zu Waſſer vereinigt werden. In dieſer Hitze ſchmilzt Platin ſogleich, die für unſchmelzbar gehaltenen Erden ſchmelzen u. ſ. w. Clarke, der der erſte war, welcher Verſuche mit dieſem Gebläſe anſtellte, ſah den Strontian mit ſchöner amethyſtfarbener Flamme verbrennen, Bergcryſtall, Feuerſtein, Serpentin wurden geſchmolzen, Gold verflüchtigt u. ſ. w.

Clarke glaubte anfangs, die enge Röhre ſichere völlig gegen alle Gefahr; aber bald überzeugten ihn die einige Mal eingetretenen Exploſionen vom

Gegentheil, und er fand daher nöthig, die Einrichtung etwas vorſichtiger zu machen. Dieſes geſchah theils dadurch, daß eine ſtarke Breterwand den Experimentator von dem Gasgefäße trennte und nur die Mündung der Röhre diesſeits der Wand lag, theils dadurch, daß das comprimirte Gas nicht unmittelbar zu der Mündungsröhre, wo ſie verbrannte, gelangte, ſondern vorher durch ein Gefäß mit Oel gehen mußte, in welchem es in getrennten Blaſen aufſtieg, die alſo die Entzündung nicht bis zu dem Gasgefäße fortpflanzen können. Fig. 9 (Taf. XII.) ſtellt dieſe Einrichtung vor. A iſt die Blaſe mit der Gasmiſchung, die dieſe durch die Röhre B zu der Verdichtungspumpe C führt; von dieſer Pumpe, die am Ende D durch ein Ventil geſchloſſen iſt, geht die Röhre E bis auf den Boden des mit Oel gefüllten Kaſtens F, durch den das Gas aufſteigt und dann aus der Röhre G hervorſtrömt. Die Wand H, durch welche der Griff I des Pumpenkolbens und die Röhrenmündung G hindurchgeht, ſichert den Beobachter gegen alle Unfälle. Man hat eine viel einfachere Einrichtung angegeben, wo die Blaſe A mit Gasmiſchung durch Gewichte B comprimirt wird, wie Fig. 10 zeigt, und dann aus der Röhre C bringt; aber um hier einen ſtärkern Luftſtrom benutzen zu können, ſollte die Röhre C lang ſeyn und doch das mit Oel gefüllte Gefäß nicht weggelaſſen werden. Die größere Stärke des brennenden Luftſtromes iſt hier, ebenſo wie die richtigen Miſchungsverhältniſſe, von großer Wichtigkeit.

Mit Hülfe dieſer Sicherung konnte Clarke es wagen, einen ½ Linie dicken Luftſtrom hervorbringen zu laſſen, wodurch die Erfolge noch auffallender wurden. Dieſer ſtarke entzündete Luftſtrom brachte Platin ſo zum Schmelzen, daß man eine halbe Unze fließend erhielt; Eiſen verbrannte unter einem höchſt glänzenden Funkenſprühen, die am ſchwerſten zu reducirenden Metalle wurden in dieſer Hitze metalliſch dargeſtellt u. ſ. w.

Obgleich man ſich ſchon vorher von einem ſolchen Gebläſe eine bedeutende Hitze verſprochen hatte, ſo hat man doch, als die Hitze ſo über alle Erwartung groß wurde, gefragt, worin der Grund dieſer überaus großen Wirkung liege. Gilbert ſucht ihn darin, daß das Waſſerſtoffgas ſelbſt, als ein in hohem Grade elaſtiſcher Körper, ebenſo gut, als das Sauerſtoffgas, bei der Zerſetzung Wärme giebt, ja in noch größerer Menge, und daß das comprimirte Gas mit ſo großer Geſchwindigkeit hervorbringt, alſo die Menge des zerſetzten Gaſes der geringen Dicke des Luftſtromes ungeachtet groß iſt. Gewiß tragen beide Umſtände zur Verſtärkung der Hitze bei, aber eine Haupturſache der Wärme iſt gewiß die, daß die beiden gemiſchten Luftarten einen in allen Theilen brennenden Feuerſtrom geben, der nicht bloß an der Oberfläche einen Feuermantel hat, wie die gewöhnlichen Flammen, und daß daher auch die Zerſetzung ſchneller und gewaltſamer vor ſich geht, als in irgend einem andern Falle.

Brewſter hat noch auf eine andere Erregungsweiſe ſehr großer Hitze aufmerkſam gemacht. Er befeſtigte über der Flamme der bei der Gaserleuchtung angewandten Luft ein feines Drahtnetz und ließ die Flamme unterhalb

deſſelben fortbrennen, entzündete aber auch die durch das Drahtnetz gedrungenen Lufttheile. Hier erhielt er nun eine ſehr ſchwach leuchtende, aber ſehr große Hitze gebende Flamme. Auch dieſe Flamme hat, wie Brewſter bemerkt, ihre Hitze daher, daß die Luft bei dem Durchgange durch das Drahtnetz ſich mit atmoſphäriſcher Luft gemiſcht hat und ſo ein Knallgas bildet, das nicht als dünner Lichtmantel einer Flamme, ſondern als vollkommener Feuerſtrom brennt. Um bequemer von der Entzündung einer ſolchen Knallgasmiſchung Vortheil zu ziehen, ſchlägt Brewſter folgende Einrichtung vor, die ſich ſogleich mit einem kleinen Gaserleuchtungs-Apparate verbinden läßt. Das zur Gaserleuchtung beſtimmte Gas ſteigt nicht allein (XII. Fig. 11) durch die Oeffnung M hervor, wo man es gewöhnlich ſogleich anzündet, ſondern es dringt zugleich, zugeleitet durch die Röhre abcdf, aus vier Oeffnungen des hohlen Ringes f hervor. Die aus dieſen vier Oeffnungen dringende Luft wird angezündet, und da die Flammen nun von dem aus M hervordringenden, aber ſchon mit atmoſphäriſcher Luft gemiſchten Gas angeblaſen werden und dieſes exploſive Gas ſich ſelbſt entzündet, ſo erhält man eine große Hitze. Die Hähne A, b müſſen ſo regulirt werden, daß weder der Luftſtrom bei M durch zu heftigen Andrang die Flämmchen ausbläſt, noch auch zu ſchwach für die Erlangung des Zweckes iſt. Auf den Ring g werden die zu erhitzenden Gegenſtände gelegt.

Schlußbemerkungen über die Theorie der Wärme.

Die bisher mitgetheilten Erfahrungen enthalten die wichtigſten Erſcheinungen, welche die Wärme uns zeigt, und ſie ſollten nun billig uns zu entſcheidenden Beſtimmungen über die Natur der Grundurſache der Wärme führen. Wie weit wir aber von der Kenntniß derſelben noch entfernt ſind, das habe ich ſchon mehrmals bemerkt und muß auch hier dieſes Bekenntniß wiederholen. Die meiſten Erſcheinungen laſſen die Erklärung zu, daß der Wärmeſtoff ein für unſere Abwägungen nicht merkbares Fluidum iſt, das ſeiner Elaſticität wegen ſich überallhin, wo die Temperatur geringer iſt, ergießt. Vermöge ſeiner Elaſticität dehnt es die Körper aus, und die ſchon erhitzten Körper dehnen ſich bei gleichen Aenderungen der Temperatur mehr aus, als die minder erhitzten, weil die gegenſeitige Anziehung der Körpertheilchen ſich der Ausdehnung weniger widerſetzt, wenn ſie weiter aus einander gerückt ſind. Findet der Wärmeſtoff einen Abfluß in einen kältern Körper, ſo vermindert ſich das Volumen des nun abkühlenden Körpers, weil die gegenſeitige Attraction der Körpertheilchen dieſe wieder ungehindert näher an einander bringt. Sie haben geſehen, daß das Abmeſſen der Wärmemenge, die von einem Körper zum andern übergeht, das Abmeſſen der Wärme beim Schmelzen des Eiſes u. ſ. w. ſich ganz gut dieſen Anſichten angemeſſen zeigte; aber ich habe Ihnen auch nicht verhehlt, daß dieſe Anſicht — und ebenſo jede andere — nicht ohne Schwierigkeit iſt.

So wenig als wir hier zu einem Grade von Gewißheit gelangt ſind,

ebenſo wenig können wir uns deſſen in Beziehung auf den Zuſammenhang zwiſchen Licht und Wärme rühmen. Licht und Wärme befolgen bei der Strahlung ſehr übereinſtimmende Geſetze, ſind aber im Durchgange durch andere Körper doch ſehr verſchieden. Die Zurückwerfung geſchieht faſt nach gleichen Geſetzen, aber bei dem Eindringen des Lichts in die undurchſichtigen Körper geht dieſes, ſo ſcheint es uns, ganz verloren, während die Wärme hier gerade die bedeutendſte Wirkung zeigt. Beim Durchgange durch durchſichtige Körper geht das Licht beinahe ungeſchwächt durch, ſtatt daß die Wärme faſt ganz zum Erwärmen des Körpers verwandt wird. Da wo Licht und Wärme hervorgebracht wird, gehen ſie gewöhnlich zugleich, aber nicht in verhältnißmäßiger Menge hervor; die Lichtmenge ſcheint vermehrt zu werden, wenn die Entwickelung der Wärme ſchneller, gleichſam gedrängter, ſtatt findet, aber die Wärmemenge bleibt darum doch unvermehrt, wenn ſie auch in kürzerer Zeit hervorgeht. Man hat geſagt, die Wärme enthalte das Licht als Beſtandtheil und werde bei ſehr lebhafter Entwickelung zerſetzt, ſo daß das Licht frei werde; aber ich weiß nicht, ob dieſe Vorausſetzung viel weiter führt.

Doch es iſt paſſender, dieſe theoretiſchen Fragen, zu deren Beantwortung noch kein ſicherer Weg eröffnet zu ſeyn ſcheint, indem auch eine Undulationstheorie hier ſchwerlich zum Ziele führt, zu verlaſſen, und an den Dank gegen unſre Vorgänger und unſre Zeitgenoſſen für die umfaſſende Kenntniß der Erſcheinungen, welche ſie uns verſchafft haben, das Bekenntniß zu knüpfen, daß die letzte Urſache dieſer Erſcheinungen uns noch verborgen iſt.

Sechzigſte Vorleſung.

Die Unterſuchungen über die Electricität, mit welchen ich Sie jetzt zu unterhalten anfange, gehören ganz der neuern Zeit an, und gewähren uns, da wir ihre Entwickelung vom erſten Anfange an vor uns haben, dadurch eine eigenthümliche Belehrung, daß ſie uns zeigen, wie ſich, ſobald man nur anfängt zu fragen und zu beobachten, eine Frage nach der andern beantwortet und ſo ein Syſtem entwickelt, das uns zuletzt um ſo mehr mit Bewunderung und Freude erfüllt, je geringer und unbedeutender es in ſeinem erſten Anfange erſchien. In keinem Zweige der Phyſik hat ſich die Kunſt, zu errathen, welche Erſcheinungen ſich an die ſchon bekannten anknüpfen mögen, durch geſchickte Anordnung von Verſuchen den Grund der Erſcheinungen zu erforſchen und die Wahrheit der Hypotheſen zu prüfen, glänzender gezeigt, als in der Lehre von der Electricität, wo nicht ſelten ein einziger neuer Verſuch die Grundlage einer ganzen Reihe überraſchender und durch wohlgeordnete Verſuche beſtätigter Kenntniſſe wurde.

Erregung der Electricität durch Reibung. Anziehung.

Zwar hat man ſchon in den älteſten Zeiten einige Erſcheinungen bemerkt, die wir jetzt als der Electricität angehörend kennen, aber ſie ſtanden ſo einzeln da und erſchienen als ſo ganz geringfügig, daß ſie kaum einige Aufmerkſamkeit erregten. Der Bernſtein (electrum) vorzüglich war es, von dem man wußte, daß er durch Reibung die Eigenſchaft erlange, leichte Körper anzuziehen, und dieſe Erfahrung hat daher ſpäter Anlaß gegeben, die Kraft, die dabei wirkſam iſt, Electricität, alſo eigentlich Kraft des Bernſteins, zu nennen. Lange Zeit ſcheint es kaum jemand der Mühe werth gefunden zu haben, außer dem Bernſtein noch andere Körper aufzuſuchen, welche ähnliche Eigenſchaften beſitzen, und in der That konnte auch dieſe ſchwache Anziehung nicht die Vermuthung erregen, daß wir es hier mit einer Kraft zu thun haben, deren Gewalt ſich uns im Gewitter in ihrer furchtbaren Stärke zeigt und deren Wirkungen überall von der größten Wichtigkeit ſind; daher ſind bis zu Ende des 16ten Jahrhunderts außer Bernſtein und Agat (vielleicht auch dem Turmalin) keine oder doch ſehr wenige Körper bekannt geweſen, welche eine ſolche beſondere Anziehung ausüben. Erſt Gilbert, der gerade im Jahre 1600 ſein Buch über den Magnet bekannt machte, war durch die vom Magnet auf Eiſen ausgeübte Anziehungskraft darauf geleitet worden, auch diejenigen Anziehungen, denen er ſchon den Namen electriſcher Wirkungen beilegt, näher zu unterſuchen. Er fand, daß es viele Körper gebe, die jene Eigenſchaft, durch Reibung anziehend zu werden, beſitzen, namentlich mehrere Edelſteine, Schwefel, Glas und die harzigen Körper, und überzeugte ſich, daß ſie ihre Anziehungskraft auf alle leichten Körper wirkſam zeigten, daß aber dieſe Wirkung bei trockener Luft lebhafter hervortrete und durch Feuchtigkeit gehindert werde.

Mittheilung der Electricität. Gegenſeitiges Abſtoßen.

Aber obgleich dieß ein recht bedeutender Fortſchritt in der Kenntniß der electriſchen Körper und ihrer Wirkungsart war, ſo dauerte es doch noch wieder faſt ein Jahrhundert, bis neue Erweiterungen dieſer Lehre entdeckt wurden. Erſt im letzten Drittel des ſiebzehnten Jahrhunderts ſtellte Guericke und faſt zu eben der Zeit Boyle eine neue Reihe von Verſuchen an. Der erſtere bediente ſich einer Schwefelkugel, die er in einem gläſernen Gefäße gegoſſen und mit einer Axe und einem Handgriff zum Drehen verſehen hatte, um ſie durch Reiben mit der Hand electriſch zu machen. Er bemerkte, daß dieſer electriſch gemachte Körper nicht allein alle leichten Körper an ſich zog und ſelbſt Waſſertropfen in ſeiner Nähe gegen ſich zu ausgedehnter machte, ſondern daß auch eine Abſtoßung ſtatt fand, daß nämlich der einmal angezogene Körper ſich nun von dem electriſchen Körper entfernte und erſt dann zum zweiten Male angezogen wurde, wenn er einen andern Körper berührt hatte. Das letztere zeigte Guericke an Federchen, die, in der Luft ſchwebend, nach

einmaliger Berührung der electriſchen Kugel vor dieſer flohen, wenn man die Kugel ihnen näherte. Guericke bemerkte, daß dieſe Federchen ſelbſt wieder fähig waren, andere Körper anzuziehen, daß ſie alſo ſelbſt electriſch geworden waren oder Electricität durch Mittheilung von dem geriebenen Körper erhalten und aufgenommen hatten. Eine Flaumfeder breitete ſich aus, ſo daß die einzelnen Theile abſtoßend auf einander wirkten; dagegen ward ſie vom Finger angezogen oder übte vielmehr ſelbſt dieſe anziehende Kraft aus, und wenn ſie den Finger berührt hatte, ſo war ſie wieder fähig, von der electriſchen Kugel angezogen zu werden. Einige andere Erfahrungen, die Guericke ſich noch nicht erklären konnte, übergehe ich hier; aber die Erfahrung, daß der geriebene Schwefel im Dunkeln leuchte, alſo ein electriſches Licht entſtehe, kann ich doch nicht unerwähnt laſſen.

Boyle ſtellte ähnliche Verſuche an, aber unvollkommener, und Wall bemerkte, daß das electriſche Licht des Bernſteins mit einem Kniſtern begleitet war. Newton ſcheint zuerſt bemerkt zu haben, daß die untere Seite einer Glasſcheibe die Wirkungen der Electricität zeigte, wenn man die obere gerieben hatte, und auch dieſe Bemerkung iſt für jenen Zuſtand der Kenntniſſe keine ganz unerhebliche. Daß Wollenzeug zum Reiben des Glaſes beſſer als Leinen ſey, daß es alſo einen Unterſchied der Wirkſamkeit des Reibezeuges gebe, gehört auch zu den kleinen Entdeckungen Newton's.

Die wichtigen Entdeckungen anderer Art, zu denen Newton's Unterſuchungen über das Licht und über die Bewegung der Himmelskörper Anlaß geben, mögen die Urſache geweſen ſeyn, daß man die electriſchen Unterſuchungen in den nächſten 30 Jahren wenig weiter brachte; denn erſt 1709 trat Hawksbee mit neuen Verſuchen auf, unter denen die über das electriſche Licht im luftleeren Raume, die ich ſpäter erzählen werde, die wichtigſten ſind. Ueber das Anziehen und Abſtoßen ſtellte er manche neue Verſuche an. Er bediente ſich des Glaſes als eines leicht und ſtark electriſch werdenden Körpers, und nach ihm hat man faſt immer nur Glaskugeln, Glasröhren, Glasſcheiben als die zu dieſem Zwecke tauglichſten Körper angewandt. Er bemerkte, daß ſeitwärts hängende Fäden alle gegen den Mittelpunkt der geriebenen Kugel angezogen wurden, daß ſie dagegen nach allen Richtungen aus einander gingen, wenn ſie ſelbſt mit der electriſirten Kugel oder ihrer Axe verbunden waren; ferner daß Fäden innerhalb einer Glaskugel in Bewegung geriethen, wenn eine andere electriſirte Glaskugel in die Nähe gebracht wurde. Er bemühte ſich, auch Metalle durch Reibung electriſch zu machen; aber dieſes gelang ihm nicht, aus Gründen, worauf wir ſogleich zurückkommen werden.

Die durch dieſe Erfahrungen ſchon klar angedeutete Mittheilung der Electricität wurde erſt 1728 von Gray genauer unterſucht, und dieſer gelangte dadurch zu ganz neuen Aufſchlüſſen. Er bediente ſich zu ſeinen Verſuchen einer Glasröhre, die an beiden Enden mit Korkſtöpſeln geſchloſſen war und die er durch Reiben electriſch machte; hier bemerkte er, daß leichte Körper nicht allein vom Glaſe, ſondern auch von dem Kork angezogen und dann

wieder abgeſtoßen wurden, daß alſo dieſer ebenſo gut als die geriebene Röhre ſelbſt die electriſchen Wirkungen ausübte. Um dieſe Mittheilung weiter zu verſuchen, ſteckte er ein längeres Stäbchen mit einer Kugel in den Kork, und auch dieſe zeigte eben die Wirkungen.

Leiter und Nichtleiter.

Dieſe deutlichen Spuren einer Fortleitung der Electricität, einer Mittheilung auch an entferntere Körper veranlaßten Gray noch weiter zu gehen, eine längere Schnur an jenen Kork zu befeſtigen und eine damit verbundene Kugel, 26 Fuß tief herabhängend, in die Nähe leichter Körper zu bringen, während die Röhre electriſch gemacht wurde, um zu ſehen, ob auch dieſe Kugel ſich electriſch zeige. Der Verſuch gelang, ſo wie alle ſchon früher für kleinere Entfernungen angeſtellten Verſuche, und die anziehende Kraft der Electricität war alſo hier bis auf ſo bedeutende Entfernungen durch eine hanfene Schnur mitgetheilt oder fortgeleitet worden. Gray erkannte vollkommen die Wichtigkeit dieſer neuen Entdeckung und wünſchte nun, auch in horizontaler Richtung die Fortleitung zu verſuchen; da aber ein Faden oder ein Seil ſich durch bedeutende horizontale Entfernungen nicht ohne Unterſtützung fortführen läßt und ihm ſehr wohl einleuchtete, daß die Electricität ſich vermittelſt einer ſolchen Unterſtützung auch den andern Körpern mittheilen möchte, ſo ſuchte er dieſem Nachtheile dadurch abzuhelfen, daß er eine dünne und zwar eine ſeidene Schnur wählte, um damit die horizontal fortgeführte hanfene Schnur zu unterſtützen. Wirklich gelang ſo die Fortleitung der Electricität bis zu mehr als 100 Fuß Entfernung; aber als Gray, da die Seide riß, einen feinen Metalldraht anwandte, war die Fortleitung nach der Richtung, wo man die Wirkungen der Electricität zu erhalten wünſchte, nicht mehr möglich, ſondern der Metalldraht zeigte ſich, ſeiner Feinheit ungeachtet, als Leiter der Electricität, während Seide nun als ein Nichtleiter erkannt, und ſo der wichtige Unterſchied zwiſchen Körpern, welche die Electricität leiten und ſolchen, welche ſie nicht leiten, deutlich bewieſen wurde.

Die Leitungsverſuche wurden von Gray noch weiter fortgeſetzt, indem er Schnüre, die Leiter waren, bis zu mehr als 700 Fuß fortführte, und wenn ſie durch Seide von der Verbindung mit andern, ſeitwärts ableitenden Körpern getrennt waren, auch in dieſen Entfernungen Wirkungen der Electricität erhielt. Die Unterſuchung, welche Körper leiteten oder nicht leiteten, lehrte bald Harze, Glas, Seide als Nichtleiter, dagegen Metalle, feuchtes Holz, hanfene Seile als Leiter kennen.

Ich breche hier die hiſtoriſchen Nachrichten ab, da es jetzt nöthig wird, bei jedem Gegenſtande ausführlich zu verweilen, und da die bis zu Gray's Verſuchen im Jahre 1729 ſo langſam fortſchreitenden Kenntniſſe nun in Beziehung auf mehrere Theile der Electricitätslehre erweitert wurden; indeß werde ich gelegentlich wieder auf die Geſchichte der weitern Fortbildung der einzelnen Zweige unſerer Kenntniſſe von der Electricität zurückkommen. Die

Entdeckung, daß einige Körper der Electricität keinen leichten Durchgang geſtatten, iſt in mehr als einer Hinſicht wichtig. Sie ſetzt uns in den Stand, die Körper, die wir durch Mittheilung electriſiren wollen, gegen den Verluſt der Electricität zu ſichern, indem wir ſie iſoliren, das iſt, durch Nichtleiter, am liebſten durch Glasfüße, durch Unterlagen von harzigen Körpern oder durch Aufhängen an Seide, von andern Körpern, auf welche die Electricität übergehen könnte, trennen. Sie lehrt uns den Grund des Mißlingens der electriſchen Verſuche bei feuchtem Wetter kennen, indem wir nun einſehen, daß nur die trockene Luft ein guter Nichtleiter der Electricität iſt, während feuchte Luft eine Ableitung geſtattet. Sie erklärt manche einzelne Verſuche, und bei dieſer Erklärung muß ich etwas länger verweilen.

Man pflegt, um das Anziehen und Abſtoßen der Körper bei dem Electriſiren zu zeigen, leichte Kugeln, gewöhnlich von Holundermark, an Fäden aufzuhängen. Reibt man nun eine Glasröhre und nähert ſie jenen Körpern, ſo iſt die erſte Wirkung, daß ſie von dem electriſirten Körper angezogen werden, bei allen gleich, die Fäden mögen leitend oder iſolirend ſeyn. Aber wenn unter jenen Kugeln einige an ſeidenen Fäden hängen, andre an leinenen oder an dünnen Metallfäden, und wenn die letztern durch Metalle oder auch nur durch Holz oder Stein mit größern Körpern in Verbindung ſtehen, ſo findet man, daß die erſtern, nachdem ſie von der Glasröhre Electricität erhalten haben, abgeſtoßen werden, während die durch Leiter mit andern Körpern in Verbindung ſtehenden kleinen Kugeln immerfort angezogen werden. Jene an Seide hängenden Kügelchen behalten, weil die Seide ein Nichtleiter iſt, die ihnen mitgetheilte Electricität, und zeigen uns, daß die ſchon mit Electricität geladenen Körper von dem Körper, welcher ihnen Electricität ertheilte, abgeſtoßen werden; die durch Leitung mit andern Körpern in Verbindung ſtehenden Kugeln verlieren in jedem Augenblicke die erlangte Electricität und werden daher immer aufs neue von dem electriſirten Glaſe angezogen. Die iſolirten Kugeln, ſie mögen an Seidenfäden hängen oder durch einen Glasſtab, an welchem der Faden befeſtigt iſt, von andern Körpern getrennt ſeyn, kehren, wenn ſie einen andern Körper berührt und an ihn ihre Electricität abgeſetzt haben, zu der electriſirten Glasröhre zurück, um ſich neue Electricität zu holen, und wiederholen dieſes Hin- und Zurückgehen ſehr oft. Schon bei den gewöhnlichſten Verſuchen mit geriebenem Siegellack oder geriebenem Glaſe bemerken wir dieß, indem kleine Papierſtückchen abwechſelnd herankommen und wieder zu einem leitenden Körper zurückgehen, ſo daß ſie, wenn die Electricität ſtark und dauernd genug iſt, ihren Tanz, am beſten zwiſchen einem breiten Leiter und einem horizontalen, gleichfalls breiten, electriſirten Körper, unter welchem jener gehalten wird, lange fortſetzen.

Das electriſche Glockenſpiel, wo eine iſolirt gehaltene metallene Glocke electriſirt wird, andre mit Ableitung verſehene metallene Glocken in der Nähe jener ſtehen und Metallkugeln an ſeidenen Fäden zwiſchen jener und dieſen hängen, gehört auch hieher. Die Metallkugeln, die an ſeidenen Fäden hängen,

werden von der electriſirten Glocke angezogen und dann von ihr zu den nahe ſtehenden Glocken abgeſtoßen, kehren aber, ſobald ſie ihre Electricität an dieſe übertragen haben, zu der erſten zurück, und ſetzen ihr Geläute ſo lange fort, als der mittleren Kugel Electricität ertheilt wird.

Um die Electriſirung eines leitenden, aber iſolirt aufgeſtellten Körpers wahrzunehmen, pflegt man zwei Kugeln an leinenen Fäden oder zwei Strohhälmchen an dieſem Körper ſelbſt neben einander aufzuhängen. Sobald der Körper electriſirt wird, erhalten auch dieſe angehängten Körper Electricität, und ihr Auseinandergehen, weil ſie ſich abſtoßen, zeigt, daß jener Leiter electriſirt iſt. Bedient man ſich eines langen metallenen Leiters, der auf Glas ruht und nirgends Spitzen darbietet (denn dieſe geben Ableitung), ſo gehen die Strohhalme, ſelbſt am entfernteſten Ende des Leiters, in demſelben Augenblicke aus einander, wo man ihn mit dem electriſirten Körper irgendwo berührt. Sind die Glasfüße vollkommen trocken, iſt auch die Luft trocken und alle Ableitung vermieden, ſo bleibt dieſer Leiter lange in ſeinem electriſchen Zuſtande, und verliert die Electricität nur dadurch nach und nach, weil die Luft, ſelbſt wenn ſie trocken iſt, doch nicht ganz nichtleitend iſt. Bei feuchter Luft verliert der iſolirte Leiter ſeine Electricität viel ſchneller. Allemal aber, wenn man ihn mit einem metalliſchen Leiter auch nur ganz wenig berührt, iſt die Electricität ſogleich gänzlich abgeleitet.

Die Leitungsfähigkeit der Körper iſt ſehr verſchieden. Die Metalle gehören alle zu den beſten Leitern, aber wir werden ſpäter doch auch unter ihnen Grade der beſſern Leitung beſtimmen lernen. Kohle iſt ein faſt ebenſo guter Leiter als die Metalle. Erze ſind gleichfalls leitend und manche Steine ſind es, weil ſie faſt nie ohne einige Feuchtigkeit ſind; Holz und andre Körper, die irgend etwas von Feuchtigkeit aufnehmen, leiten deſto mehr, je feuchter ſie ſind; Pflanzen und die meiſten Theile der thieriſchen Körper, auch die Knochen, ſind Leiter. Dagegen ſind alle Glasarten, alle harten Steine, ferner Phosphor, Schwefel, alle harzigen Körper, völlig trockene Salze oder Iſolatoren. Die Hölzer und die weichern Steinarten iſoliren deſto beſſer, je mehr ihnen alle Feuchtigkeit entzogen iſt. Seide, Federn, trockene Haare und Pelz ſind Nichtleiter. Das Waſſer iſt ein Leiter, vorzüglich wird die Electricität an ſeiner Oberfläche gut fortgeleitet; fette Oele dagegen iſoliren vollkommen. Die trockene Luft iſt ein Nichtleiter und dadurch entſteht die Möglichkeit, die Electricität anzuhäufen, die gänzlich fehlen würde, wenn die alle Körper umgebende Luft ein guter Leiter wäre; in ſehr feuchter Luft iſt es wirklich kaum möglich, Electricität merkbar zu machen. Uebrigens ändert ſich die Leitung bei verſchiedenem Zuſtande der Körper, ſchmelzendes Harz wird leitend und ſehr heißes Glas gleichfalls. Bei Körpern, die nur ſchwach leiten, wird es merklich, daß ſie bei größerer Länge und bei geringerer Dicke die Ableitung mehr hindern. Daher darf man die Glasfüße, auf welchen der zu iſolirende Körper ruht, nicht zu kurz machen; auch dürfen dieſer Unterſtützungen nicht zu viele ſeyn, weil doch jede in einigem Grade Electricität entweichen läßt. Wir werden

bald Mittel finden, die Vortheile, die hier der eine oder der andre Körper gewährt, noch genauer anzugeben.

Metalle werden durch Reiben electriſch.

Man glaubte ehemals diejenigen Körper als idioelectriſche, d. i. als fähig, ſelbſt electriſch gemacht zu werden, anſehen zu dürfen, die durch Reiben dieſe Eigenſchaft erhalten; aber bei näherer Unterſuchung zeigt es ſich, daß alle Körper durch Reiben electriſch werden. Es iſt nämlich einleuchtend, daß ein Metall, welches ich in die Hand nehme, beim Reiben keine Electricität zeigen kann, weil die erregte Electricität ſogleich der Hand zugeleitet wird und ſo ſich der Erde und allen umgebenden Körpern mittheilt.

Um zu entſcheiden, ob auch Metalle durch Reibung electriſch werden, muß man ſie mit einem Handgriffe von Glas oder Harz verſehen oder da, wo man ſie mit der Hand hält, die Leitung zur Hand hinüber durch Seide unterbrechen, und dann findet ſich, daß auch die Metalle durch Reibung electriſch werden. Der ganze Unterſchied liegt alſo nur in der Leitung. Das Glas wird nur an den Stellen electriſch, wo man durch Reiben die Electricität hervorruft, und ſelbſt eine ganz nahe an jenen Punkten ſtatt findende Berührung leitet die Electricität nicht ab; ein geriebenes Metall dagegen zeigt ſich, wenn es ſorgfältig iſolirt gehalten wird, an ſeiner ganzen Oberfläche electriſirt, verliert aber auch ſogleich jede Spur von Electricität, ſobald man es nur im geringſten berührt. Am Glaſe, am geriebenen Siegellack und an ähnlichen Körpern kann man zahlreiche Punkte der Oberfläche durch Berührung der Electricität berauben, und dennoch zeigen ſich dieſe Körper noch electriſch, weil noch unberührte Punkte übrig bleiben; es iſt daher ſchwer, ein electriſirtes Glas durch viele Berührung ſo gänzlich von aller Electricität zu befreien, daß es keine Spur von Wirkung mehr zeige, und erſt nach längerer Zeit oder durch die umgebende feuchte Luft oder durch ein Anhauchen findet endlich das Aufheben aller electriſchen Wirkung ſtatt.

Electroſcope. Electrometer.

Schon dieſe wenigen Kenntniſſe ſetzen uns in den Stand, Mittel zur Abmeſſung der Electricität zu finden, indem die Anziehungskraft, welche ein electriſirter Körper gegen einen unelectriſirten ausübt, und die Abſtoßungskraft, mit welcher zwei aus derſelben Quelle mit Electricität geladene Körper auf einander wirken, uns als Maaß für die Stärke der Electricität dienen. Indeß iſt es uns ſehr oft nicht um ein genaues Maaß dieſer Kraft, ſondern nur um ein Kenntlichmachen einer ſtärkern oder ſchwächern Electricität zu thun, und hiezu dienen unſre gewöhnlichen Electrometer, die daher eigentlich nur Electroſcope, Electricitätszeiger, nicht Electricitätsmeſſer heißen ſollten. Um die Electricität eines iſolirten Leiters kenntlich zu machen, hängt man ſehr oft nur zwei Holundermarkkugeln an leitenden Fäden an ihm auf; da dieſe, weil ſie mit dem Leiter zugleich electriſch werden, einander abſtoßen, ſo giebt ihre

Divergenz, ihr Auseinandergehen, eine Andeutung von der Ladung des Leiters, und man erkennt das Zunehmen der Ladung an einer ſtärkern Divergenz der Fäden. Statt dieſer Fäden hängt man bei ſehr ſchwachen Ladungen zwei Goldblättchen ſo neben einander, daß ſie ſich mit ihren breiten Flächen berühren (Bennet'ſches oder Goldblatt-Electroſcop); ihr Auseinandergehen iſt ſchon bei ſehr geringen Ladungen erheblich genug, um die Ladung zu zeigen. Man bringt zu Erkennung ſchwacher Ladungen dieſe Goldblättchen oder auch ſehr leichte Kugeln oder Strohhälmchen ſehr gewöhnlich innerhalb eines Glascylinders **ABCD** (XII. Fig. 12) an, wo dann die metallene Platte **AB** (genannt die Zuleitungs- oder Collectorplatte) durch den Leiter **FG** mit den Blättchen oder Fäden **E, E** in Verbindung ſteht, das Glas **ABCD** aber zur Iſolirung und zum Schutze gegen Luftzug dient; bei **F** wird der zu prüfende electriſirte Körper mit dem Electroſcop in Verbindung geſetzt. Wenn ſolche Fäden oder Strohhalme an dem Leiter ſelbſt an mehreren verſchiedenen Punkten angebracht werden, ſo gehen ſie alle zugleich aus einander, ſobald man an irgend einem Punkte des Leiters dieſem Electricität mittheilt, und dieſes ſelbſt dann, wenn der Leiter ſehr lang iſt, nur verſteht es ſich, daß er iſolirt ſeyn muß, und überdieß muß er nirgends Spitzen oder allzu dünn auslaufende Theile darbieten, indem dieſe, aus Gründen, die ich erſt ſpäter anführen werde, die Electricität ableiten.

Iſt die Electricität ſtark, ſo bedient man ſich ſchwerer Körper; eine Kugel **A** (XII. Fig. 13), die durch einen Metalldraht **BA** mit dem Fuße **CD** in Verbindung ſteht, wird von der Kugel **E** abgeſtoßen, der hinter beiden Kugeln **A, E** angebrachte Quadrant zeigt den Grad der Abſtoßung und geſtattet dadurch eine Vergleichung der mehrern oder mindern Stärke der Electricität; bei ſehr ſtarken Ladungen kann man dieſen Kugeln eine bedeutendere Größe geben, immer aber muß auch an dem Electroſcop jede Art von Spitzen vermieden ſeyn, damit die Electricität nicht ausſtröme. Dieſes Electroſcop wird mit ſeinem leitenden Fuße **DC** auf demjenigen Leiter befeſtigt, welchen man unterſuchen will. Eben den Zweck erfüllen die in Fig. 14 dargeſtellten zwei Electrometer (Henley's Quadrantenelectrometer), von denen ich bald Gebrauch machen werde. Sie beſtehen, beide ganz gleich, aus einem Leiter **CBDE**, der ſich in **E, C** in Kugeln endigt und auch bei **D, F** hinreichend abgerundet iſt, um kein Ausſtrömen der Electricität bei den mäßigen Ladungen, zu denen man dieſe Electrometer nur anwenden kann, zu geſtatten. Der Fuß **AB** iſt von Glas und mit Lack überzogen, um alle Ableitung zu hindern. Neben **DE** befindet ſich ein Strohhalm **GH**, der in ſeiner Mitte **F** auf einer Axe aufliegt, die ihm geſtattet, mit Leichtigkeit von **DE** zurückzuweichen, und der Gradbogen **HI** zeigt, wie viel er ſich in jedem Falle entfernt. Der Strohhalm iſt beinahe im Gleichgewichte, jedoch ſo, daß er mit einem geringen Uebergewichte zur verticalen Stellung gelangt; da er nun durch die leitende Axe **F** mit dem Leiter **CDE** verbunden iſt, ſo wird er abgeſtoßen, ſobald man dieſem kleine Ladungen von Electricität ertheilt, und wenngleich die

Grade, die man an dem Gradbogen HI ablieſt, nicht eigentlich Grade der Electricität ſind, ſo irrt man doch nicht ſo gar ſehr, wenn man eine Electricität, die 40° Abſtoßung bewirkt, für doppelt ſo ſtark als die, welche 20° bewirkt, anſieht. Hat man zwei ſolche Electrometer, die bei ganz gleichen Abmeſſungen auch ſo genau abgeglichene Strohhalme haben, daß ſie bei gleicher Electricität auch gleiche Grade zeigen, ſo ſind dieſe übereinſtimmenden Electrometer zu manchen Zwecken brauchbar. Um ſich von ihrer Gleichheit zu überzeugen, bringt man beide Leiter CD, cd bei C, c in Berührung und ſieht, ob dann die Strohhalme gleiche Grade zeigen, welches man durch kleine Correctionen bewirken kann, wenn es nicht ſtatt findet. Daß aber die Bogengrade ziemlich nahe für Grade der electriſchen Ladung gelten können, ſo nahe als es die hier nur beabſichtigten Verſuche fordern, davon überzeugt man ſich auf folgende Weiſe. Man giebt dem einen Electrometer, wenn es mit dem andern noch nicht in Berührung iſt, eine Ladung, die den Strohhalm zum Beiſpiel auf 40° bringt, und rückt nun das andre noch ungeladene Electrometer daran, damit bei Cc eine Mittheilung, ohne weitere Ableitung, ſtatt finde; dann hat, wegen der ganz gleichen Geſtalt, jedes der beiden Electrometer die Hälfte der vorigen Ladung und beide gehen nahe genug auf die halbe Anzahl Grade, auf 20°, herab. Trennt man ſie nun, entladet das eine durch Berührung mit dem Finger und läßt durch neue Mittheilung bei Cc die Ladung ſich wieder halbiren, ſo kommen beide auf 10°. So wenig ſtreng dieſe Vergleichung iſt, ſo reicht ſie doch in vielen Fällen um ſo mehr zu, da man den Strohhalm doch immer nur in einiger Entfernung von dem Bogen HI vorbeigehen laſſen darf und deshalb die Beobachtung der Grade nur mittelmäßige Genauigkeit zuläßt. Wenn man ähnlich angeordnete Electrometer ſo einrichtet, daß bei gleichen Ladungen das eine 30°, das zweite 20°, das dritte 10° zeigt, ſo kann man das letztere bei ſtärkern Ladungen anwenden, wo das erſte nicht mehr brauchbar iſt, und ſo doch noch eine ziemlich ſichere Vergleichung zwiſchen ſtärkern und ſchwächern Ladungen erhalten.

Weit mehr zu genauer Abmeſſung brauchbar iſt die Coulomb'ſche Drehwaage, die jedoch nur bei ſchwachen Ladungen kleiner Körper anwendbar iſt. Sie beſteht aus einem leichten Stäbchen AB (XII. Fig. 15) von Schellack, das in ſeinem Schwerpunkte an dem ſehr feinen Faden DE befeſtigt iſt und daher horizontal ſchwebend an dem Faden hängt. Da der Faden ſehr dünn iſt und auch eine nicht zu geringe Länge FE hat, ſo wird er der Drehung nur eine höchſt geringe Kraft entgegenſetzen, und obgleich das Stäbchen AB in einer beſtimmten Lage zur Ruhe kömmt, ſo wird doch ſelbſt die unbedeutendſte Kraft daſſelbe um mehrere Grade fortrücken und dadurch eine Drehung des Fadens bewirken. Dieſe Drehung, nämlich die Anzahl Grade, um welche der Faden gedreht iſt, giebt ein Maaß der drehenden Kraft, und es läßt ſich zeigen, daß ganz genau die zehnfache Kraft das Stäbchen um zehnmal ſo viele Grade fortdreht, als die einfache Kraft. Um nun dieſe Coulomb'ſche Drehwaage bequem zu gebrauchen, iſt der Faden mit dem Stäbchen in einem cylindriſchen

Glaſe eingeſchloſſen, ſo daß E den Mittelpunkt des Glaſes einnimmt, und auf dem Umfange des Glaſes iſt in der Höhe, wo der Waagebalken ſchwebt, eine Theilung in 360 Grade angebracht, um die Stellung von AB genau beobachten zu können. Der Faden wird oben bei F in einer Klemme feſtgehalten und dieſe iſt mit einem Zeiger verſehen; ändert man nun die Stellung der Klemme ſo, daß der Zeiger um 10 Gr. fortrückt, ſo wird ſich auch die Stellung, wobei das Stäbchen zur Ruhe kommt, um 10 Gr. ändern, und man hat es alſo in ſeiner Gewalt, die Ruheſtellung da, wo man will, zu bewirken. Für den Gebrauch als Electrometer macht man das Stäbchen AB von Gummilack und befeſtigt daran eine kleine Kugel von Holundermark, die alſo iſolirt iſt; bei C befindet ſich am Glaſe eine gleiche, ebenfalls iſolirte Kugel, und man ſtellt nun die Klemme ſo, daß die Kugel A ſich grade dann an C anlegt, wenn der Faden DE ganz ungedreht iſt. Giebt man nun den an einander liegenden Kugeln eine geringe electriſche Ladung, z. B. indem man ein ſehr kleines geladenes Metallkügelchen mit ihnen in Berührung bringt, ſo ſtoßen ſie einander ab und die Kugel A entfernt ſich von der unbeweglichen Kugel C; je mehr ſie ſich entfernt, deſto mehr wird der Faden gedreht und widerſetzt ſich daher mit immer ſtärkerer Gewalt der weitern Drehung, und da zugleich die Abſtoßung bei größeren Abſtänden gewiß geringer wird, ſo tritt endlich ein Gleichgewicht ein, ſo daß die abgeſtoßene Kugel z. B. auf 80° zur Ruhe kommt, wenn C ſich bei 0° befindet. Fände man bei der Prüfung einer andern Ladung weniger Grade, ſo wäre ſie ſchwächer, und um ſie mit der vorigen zu vergleichen, müßte man oben an der Klemme ganz wenig drehen, um die Kugel A auch jetzt auf 80° zu bringen; geſetzt dieß hätte eine Aenderung von 20° an dem Zeiger bei F gefordert, ſo betrüge die Drehung des Fadens nur 80—20=60°, und die Drehungskraft des Fadens wäre nur drei Viertel der vorhin ſtatt findenden, alſo auch die bei gleichem Abſtande ausgeübte Abſtoßungskraft im letzten Falle nur $^3/_4$ der vorigen.

Einige Verſuche mit dem Electrometer.

Mit dieſem Inſtrumente hat Coulomb den Verluſt, den eine ſchwache electriſche Ladung in der Luft leidet, abgemeſſen. Hätte zum Beiſpiel der mit 80° übereinſtimmende Abſtand anfangs eine Drehungskraft von 80°, nach 2 Min. nur noch eine von 76° gefordert, um im Gleichgewichte gehalten zu werden, ſo würde der Verluſt in 2 Min. ein Zwanzigſtel betragen haben. Dieſer Verluſt beträgt, wie Coulomb's Verſuche zeigen, bei unverändertem Zuſtande der Luft immer einen gleichen Theil der noch übrigen Ladung, ſo daß, wenn man nach längerer Zeit den Abſtand von 80° ſchon mit einer Drehungskraft =40° erhalten konnte, der Verluſt an Drehungskraft in 2 Min. nur 2° betrug, u. ſ. w.[1]

Auch über die ungleiche Vollkommenheit der Iſolirung laſſen ſich mit der

[1] Nach Coulomb beträgt der Verluſt bei trockener Luft in einer Minute in der Regel $^1/_{60}$ bis $^1/_{70}$, bei feuchter Luft bis $^1/_{20}$ der mittlern Spannung. (M.)

Drehwaage Verſuche anſtellen, jedoch auch nur in Beziehung auf ſchwache Ladungen. Das Siegellack und das Gummilack ſind ſo gut iſolirend, daß ſie ſchwache Ladungen ſchon bei geringer Länge faſt gar nicht ableiten. Man kann ſich davon überzeugen, wenn man die ruhend bleibende Kugel C (XII. Fig. 15) bald auf einem dünnen Lackfaden, bald auf zweien oder dreien ruhen läßt, indem in allen dieſen Fällen der Verluſt an Electricität in gleichen Zeiten faſt gleich bleibt. Wenn dagegen eben dieſe Kugel an einem einzelnen, nicht ſehr langen Coconſeidenfaden hängt, ſo verliert ſie die Electricität ſchneller, an zwei Fäden hängend noch ſchneller u. ſ. w. Nach Coulomb's Verſuchen iſt ein Faden von Siegellack oder auch von Gummilack, $\frac{1}{2}$ Lin. dick und $1\frac{1}{2}$ Zoll lang, für mäßig geladene Holundermarkkugeln von $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmeſſer faſt völlig ſtreng iſolirend; auch ein Seidenfaden mit Siegellack überzogen thut eben die Dienſte. Dagegen iſolirt ein feiner Glasfaden von 5 bis 6 Zoll Länge, ein Haar oder ein Seidenfaden nur an ſehr trockenen Tagen, man muß ſie daher mit Gummilack überziehen. Die minder gute Iſolirung durch Seide oder Glas iſt vorzüglich bei etwas ſtärkern Ladungen merklich, bei ſehr ſchwachen Ladungen aber iſt die abſtoßende Kraft der Electricität nicht groß genug, um in dieſen doch immer noch überaus ſchlechten Leitern die Electricität fortzutreiben. Längere Fäden iſoliren beſſer, ſo daß ein viermal ſo langer Faden die doppelt ſo ſtarke Electricität noch vollkommen iſolirt, wenn die einfache Länge die einfache Electricität noch vollkommen gut iſolirte; aber dieſe Vergleichung gilt nur in Beziehung auf gleich trockne Luft und gleich dicke Fäden. Uebrigens findet ſich bei gleichem Zuſtande der Luft der allmälige Verluſt gleich, der Körper ſey poſitiv oder negativ electriſirt.

Der Gebrauch der Drehwaage iſt ihrer großen Beweglichkeit wegen etwas ſchwierig, und ſie kann zu fehlerhaften Schlüſſen Anlaß geben, wenn irgend ein andrer Theil des Inſtruments auch nur die geringſte Spur von Electricität angenommen hat; man muß daher bei ihrem Gebrauche große Vorſicht anwenden.

Doch es iſt Zeit, daß ich dieſe mehr auf Einzelnheiten gehenden Betrachtungen verlaſſe und Sie mit einer der folgenreichſten Entdeckungen bekannt mache, die uns neue, weſentliche Belehrung über die Natur der electriſchen Erſcheinungen gewährt.

Entgegengeſetzte Electricitäten.

Nach allen bisher angeführten Erfahrungen und nach allem dem, was man bis zu Gray's Unterſuchungen kennen gelernt hatte, ſchien es gar keinen Zweifel zu leiden, daß ein electriſirter Körper, wenn man mehr Electricität hinzubringt, auch ſtärkere Wirkungen zeigen müſſe, und ebenſo wenig konnte man zweifeln, daß die Abſtoßung, die wir zwiſchen zwei electriſirten Körpern bemerkt haben, ganz allgemein zwiſchen je zwei electriſirten Körpern ſich zeigen müſſe; aber hier findet ſich eine ſehr merkwürdige Verſchiedenheit, die Dufay 1733 bemerkte. Wenn man ein leichtes Kügelchen an einem ſeidenen Faden

aufhängt und es mit geriebenem Siegellack berührt, ſo wird das Kügelchen electriſch und wird vom Siegellack abgeſtoßen; ſo oft man das Siegellack wieder nähert, erneuert ſich dieſe Abſtoßung, ſo lange als das Kügelchen ſeine Electricität nicht verloren hat. Aber man nähere nun dem durch Siegellack electriſirten Kügelchen eine geriebene Glasröhre, ſo wird jenes mit großer Gewalt gegen dieſe angezogen werden; wenn man das Kügelchen zur Berührung mit dem Glaſe hat kommen laſſen und wenn es die Electricität des Glaſes angenommen hat, ſo wird es von dem geriebenen Glaſe abgeſtoßen, vom geriebenen Siegellack aber ſtark angezogen, und ſo finden immer bei der Electriſirung durch Glas und bei derjenigen durch Siegellack zwar genau gleiche Erſcheinungen ſtatt, ſo lange man immer nur einen dieſer Körper dem durch ihn electriſirten Körper nahe bringt, aber entgegengeſetzte Wirkungen, wenn man bald Glas bald Siegellack dem electriſirten Körper nähert.

Dieſe Beobachtung veranlaßte Dufay, zwei verſchiedene Electricitäten anzunehmen, die Glaselectricität und die Harzelectricität; Sie werden aber bald ſehen, daß dieſe Namen nicht paſſend ſind. Dagegen finden wir uns veranlaßt, dieſe Electricitäten entgegengeſetzte zu nennen, weil ſie ſich ganz ſo verhalten, daß ein Hinzuthun der einen ein Vermindern der andern bewirkt. Die vorhin beſchriebenen zwei völlig gleichen Electrometer (XII. Fig. 14) zeigen dieß ſehr gut. Wenn zuerſt beide einzeln gleich ſtark mit Siegellack electriſirt werden und ſo angeordnet ſind, daß dieſe gleiche Electriſirung ſich durch eine Abſtoßung zu gleichen Graden zeigt, ſo bleibt die Abſtoßung gleich, auch wenn man beide ſich in C, c berühren läßt; ferner wenn man beide mit Siegellack electriſirt, aber ungleich, ſo daß das eine Electrometer 20 Grade, das andre 50 Grade zeigt, ſo kommen ſie beide bei der gegenſeitigen Berührung auf 35 Grad und ſo in allen Fällen auf den mittlern Grad. Genau ebenſo verhält es ſich, wenn beide Electrometer durch die Berührung mit geriebenem Glaſe electriſirt ſind. Aber nun electriſire man das eine jener Electrometer mit Glas, das andre mit Siegellack, und bringe beide einzeln zu gleichen Graden der Abſtoßung, ſo gehen beide bei der Berührung auf Null herab, das iſt, die eine Electriſirung hat in der Berührung die andre völlig unthätig gemacht, ihre Wirkung ganz aufgehoben, obgleich nur eine Mittheilung des einen iſolirten Körpers an den andern ſtatt fand. Man electriſire ferner das eine mit Glas, bis es auf 50 Gr. gekommen iſt, das andre mit Siegellack, bis es auf 20 Grad gekommen iſt, ſo gehen ſie bei der Berührung nicht bis auf die Mittelzahl 35, ſondern bis auf 15 Grad herab, und dieſe noch übrige Electricität iſt der Art nach mit der der ſtärkern Ladung gleichartig, alſo hier dem Glaſe entſprechend, wie man daraus ſieht, daß ſie durch neue Electricität des Glaſes vermehrt, durch neu hinzukommende Electricität des Siegellacks hingegen geſchwächt wird. Es iſt alſo ganz klar, daß gleiche Grade beider Electricitäten vereinigt ſich völlig zerſtören, daß dagegen 20 Grade der einen von den 50 Graden der andern nur 20 zerſtören, während der Ueberreſt von 30 Graden, weil er ſich auf beide Electrometer austheilt, jedes nur auf

15 Grad bringt. Dieſe wenigen Beiſpiele zeigen deutlich die in allen Fällen ſich beſtätigende Regel, daß die den beiden gleichen Electrometern ertheilten Electricitäten, indem ſie ſich unter beide gleich austheilen, ſie auf die halbe Summe der Grade bringen, wenn es gleichartige, auf die halbe Differenz aber, wenn es ungleichartige Electricitäten waren.

Dieſes Verhalten iſt ganz dem gemäß, was bei den in der Arithmetik oder Algebra mit poſitiv [+] und mit negativ [—] bezeichneten Größen ſtatt findet. Gewinn und Verluſt ſtehen einander als poſitive und negative Größen entgegen und bieten daher die beſten Beiſpiele zur Vergleichung dar. Wenn zwei Perſonen ſich vornehmen, ihren Gewinn oder Verluſt im Spiele gleich zu theilen, ſo hat keiner dem andern etwas zu geben oder von ihm zu fordern, wenn ihre Gewinne oder Verluſte gleich ſind; hat aber der eine 20, der andre 50 gewonnen, ſo iſt 35 der Gewinn eines jeden, und ebenſo wenn beide verloren haben; wenn dagegen der eine 50 gewonnen, der andre 50 verloren hat, ſo gleicht ſich dieß völlig aus und ſie haben beide weder Gewinn noch Verluſt; hat endlich einer 50 gewonnen, der andre 20 verloren, ſo gehen von dem Gewinne 20 auf dieſen über, um ſeinen Verluſt zu decken, und dann erſt werden die übrigen 30 unter beide gleich getheilt, ſo daß der Gewinn eines jeden 15 iſt. Da es ſich nun bei den Ladungen mit den beiden verſchiedenen Electricitäten ebenſo wie hier mit den poſitiven und negativen Größen, mit Gewinn und Verluſt, verhält, ſo iſt dieß die Urſache, warum man die eine Electricität, die durch Reibung des glatten Glaſes mit Wolle oder Seide am Glaſe hervorgebrachte, die poſitive oder + E, die andre Electricität aber, die wir durch Reiben von Bernſtein, Siegellack, Harz, Schwefel erhalten, die negative Electricität oder — E nennt. Sie werden bald ſehen, daß die Vergleichung mit Gewinn und Verluſt ſich in Beziehung auf die entgegengeſetzten Electricitäten noch weiter fortführen läßt.

Um auch ohne jene zwei gleichen Electrometer die Wirkungen der entgegengeſetzten Electricitäten zu zeigen, hat man nur nöthig, am einen Ende eines Leiters, der nur einige Zolle lang zu ſeyn braucht, aber einen Fuß von Glas mit Lack überzogen haben muß, zwei leitende Körper, Goldblättchen oder leinene Fäden mit Kügelchen oder Strohhalme, aufzuhängen. Berührt man nun (XII. Fig. 16) das eine Ende A des Leiters mit geriebenem Siegellack, ſo gehen die Kugeln B aus einander. Bringt man, während dieß ſtatt findet, gegen A zu, ohne den Leiter noch zu berühren, abermals geriebenes Siegellack, ſo gehen die Kugeln weiter aus einander; bringt man dagegen ebenſo geriebenes Glas gegen A zu, ſo nähern ſich die Kugeln einander, fallen auch wohl ganz zuſammen. Man ſtellt dieſe Electrometer, wie ſchon vorhin erwähnt iſt, in der Form Fig. 12 auf, und gebraucht ſie, wenn der auf dem cylindriſchen Glaſe AD ruhende und folglich iſolirte Körper FG irgend eine Electricität erhalten hat, zur Unterſuchung, ob es poſitive oder negative Electricität iſt, indem ein gegen F zu genäherter electriſirter Körper die Kugel mehr aus

einander treibt, wenn er diejenige Electricität hat, welche der Körper FG Fig. 12 ſchon beſitzt, im entgegengeſetzten Falle aber ihre Annäherung bewirkt.

Entgegengeſetzte Electricitäten der beiden geriebenen Körper.

Die Frage, ob bei der Reibung die poſitive oder die negative Electricität hervorgehen wird, iſt nicht immer leicht zu beantworten, und der Erfolg beruht ſogar auf Nebenumſtänden; aber eine merkwürdige Regel ſteht ganz feſt, nämlich daß von zwei Körpern, die an einander gerieben Electricität hervorbringen, allemal der eine poſitiv, der andre negativ electriſch iſt.[1] Um dieſes merkwürdige Geſetz zu beſtätigen, muß man ſowohl den geriebenen als den reibenden Körper iſoliren, und wenn dieß gut genug geſchehen iſt, ſo findet man es in der That ſo; nun erſt können wir mit etwas mehr Genauigkeit diejenigen Körper angeben, welche poſitiv und negativ werden. Glattes Glas wird bei der Reibung faſt an allen Körpern poſitiv electriſch und die zur Reibung angewandten werden negativ, aber das Katzenfell, vorzüglich das einer lebenden Katze, macht eine Ausnahme, indem da das Glas negativ wird und die Katze, wenn man ſie iſolirt erhält, poſitiv. Aber obgleich das glatte Glas hiernach mit ziemlichem Rechte der poſitiven Electricität den Namen Glaselectricität geben könnte, ſo verhält ſich doch das matt geſchliffene Glas ganz anders, indem es, ſelbſt an Wolle, an Papier oder an der Hand gerieben, negativ wird und nur diejenigen Körper, die ſich vorzugsweiſe in ſehr ſtarkem Grade zum Negativen hin neigen, das matt geſchliffene Glas poſitiv machen.

Wenn wir die Körper durchgehen, ſo finden wir allgemein, daß ein Körper A, der an B gerieben + E erhält, dagegen an C gerieben — E erhält, als zwiſchen B und C ſtehend angeſehen werden kann, ſo daß, wenn man B und C an einander reibt, dieſe Körper ſtärkere Electricitäten geben, einen ſtärkern Gegenſatz gegen einander als gegen A zeigen und daß B, welches an A gerieben ſchon — E erhielt, vollends an C gerieben gewiß — E erhalten wird. Dieſer Schluß bewährt ſich immer. Haben wir zum Beiſpiel gefunden, daß das glatte Glas, obgleich es faſt mit allen Körpern bei der Reibung + E erhält und den andern — E ertheilt, doch am Katzenfelle — E erhält und daſſelbe poſitiv macht, ſo können wir ſicher annehmen, daß das Katzenfell an allen Körpern poſitiv wird, die das Glas poſitiv machen, und wirklich ſteht auch das Katzenfell in der Reihe der poſitiv werdenden Körper ſo oben an, daß wir keinen Körper kennen, durch welchen jenes negativ würde. Auf gleiche Weiſe ſcheint Schwefel faſt den äußerſten Platz unter den negativ werdenden Körpern einzunehmen, indem es ſelbſt an Federharz, an Siegellack, an Bernſtein gerieben negativ wird, obgleich alle dieſe Körper ſchon zu denen gehören, die bei der Reibung mit zahlreichen andern Körpern negativ

[1] Saxtorph bemerkt, es gebe auch hier Ausnahmen, indem zwei an einander geriebene Federkiele zuweilen beide poſitiv würden. Ich habe die Behauptung richtig gefunden, obgleich ich in den meiſten Fällen die eine Feder + E, die andre — E fand, ohne daß ein Grund, warum dieſe Verſchiedenheit hervorgeht, erhellte. Aber jener Erſcheinung ungeachtet, die auf irgend etwas Zufälligem beruhen muß, kann man die Regel wohl unbeſchränkt ausſprechen.

werden. Die ganze Reihefolge der Körper, wie ſie negative oder poſitive Electricität geben, will ich hier nicht aufführen, ſondern nur noch einige Fälle erwähnen. Harzige Körper oder Siegellack, an Wolle, an wollenen Zeugen, an Seide gerieben, werden negativ und die Wolle oder Seide wird poſitiv. Dagegen wird Wolle an polirtem Glaſe gerieben negativ, an matt geſchliffenem Glaſe gerieben poſitiv. Federharz an Papier gerieben wird negativ, und wenn das Papier auf dem warmen Ofen liegt, ſo ſieht man im Dunkeln ſchöne Strahlen electriſchen Lichts bei der Reibung hervorgehen; dagegen wird Federharz an Schwefel oder Bernſtein gerieben poſitiv, weil dieſe beiden Körper allzu weit nach der negativen Seite hin ſtehen.

Bei Körpern, die in dieſer Reihe der Körper einander nahe ſtehen, iſt es oft ſchwer, ihnen ganz genau ihre Stelle anzuweiſen, da kleine Unterſchiede in der Beſchaffenheit der Oberfläche, in der Wärme u. ſ. w. Ungleichheiten hervorbringen, die keine ganz genaue Beſtimmung geſtatten. Daß ſogar große Ungleichheiten aus der bloßen Veränderung der Oberfläche hervorgehen, zeigt das Glas, welches bei matt geſchliffener Oberfläche in ſo vielen Fällen die negative Electricität zeigt und in der Reihe der Körper noch mehr als Wolle und Seide auf der negativen Seite ſteht, während glattes Glas beinahe unter allen poſitiv werdenden Körpern der erſte iſt. Ebenſo macht bei der Seide die Farbe und bei ſeidenen Bändern die Anordnung des Gewebes einen Unterſchied. Zieht man zwei ſchwarze ſeidene Bänder ſo zwiſchen den trocknen Fingern durch, daß ſie beide ſich an dieſen reiben, ſo werden ſie beide negativ; iſt aber das eine ſchwarz, das andre weiß, ſo wird das weiße poſitiv, das ſchwarze negativ. Wenn man an weißen ſeidnen Bändern ein ſchwarzes reibt, ſo wird das ſchwarze negativ, die weißen poſitiv, und überhaupt zeigt ſich beim Reiben ſchwarze weit mehr als weiße Seide zum Negativen hinneigend. Nimmt man zwei weiße Atlasbänder oder überhaupt gleichfarbige ſeidene Bänder und zieht das eine der Länge nach hin und her über der Querrichtung des andern, ſo iſt das quer geriebene gewöhnlich negativ. Aber kleine Verſchiedenheiten können auch dieſe Reſultate ändern.

Ueber die Stelle, welche einzelne Metalle in der Reihenfolge der Körper einnehmen, ſind die Angaben ſehr verſchieden, und hier beſonders müſſen kleine Unterſchiede wohl bedeutenden Einfluß haben. Coulomb fand Zink, Silber, Kupfer, Blei poſitiv, wenn ſie an wollenem Tuche gerieben wurden; dieſe Angabe finde ich bei dem Zink richtig, Kupfer und Meſſing dagegen finde ich negativ, wenn ſie mit Seide, Wolle oder weichem Leder gerieben werden. Silber habe ich, an einem Siegellackſtiele iſolirt gehalten, an Seide und Wolle nie anders als negativ erhalten, auch an Siegellack gerieben iſt Silber negativ; ja es iſt mir wiederholt gelungen, eine polirte Platte feines Silber an einer glatten Oberfläche gegoſſenen Schwefels gerieben negativ und den Schwefel poſitiv zu erhalten, ſo daß ich kein Bedenken trage, dem Silber ſeine Stelle ſehr weit nach der negativen Seite hin anzuweiſen. Aber die Metalle ſcheinen alle noch eine ſorgfältige Unterſuchung zu verdienen, indem

ſelbſt Zink an Seide gerieben zuweilen negativ wird, obgleich es in der Regel poſitiv wird. [1]

Bei Körpern, die einander völlig gleich ſind, ſollte, wenn man ſie reibt, gar keine Electricität hervorgehen; aber faſt nie ſcheint dieſe vollkommene Gleichheit ſtatt zu finden. Gläſer, an einander gerieben, werden gewöhnlich doch electriſch. So fand ich zum Beiſpiel ein Bologneſer Springkölbchen von weißem Glaſe, im Innern eines Weinglaſes von gutem, weißem, hartem Glaſe gerieben, allemal negativ und dagegen das Weinglas poſitiv, und auf ähnliche Weiſe findet man oft den geringſten Unterſchied zur Erregung der Electricität zureichend.

Auch die ungleiche Wärme beider Körper wirkt hier ein und im Allgemeinen ſcheint der wärmere ſich mehr zum Negativwerden hin zu neigen. So wird gewöhnlich weiße Seide an trockenem Papier gerieben negativ, das Papier poſitiv; aber weiße Seide an erwärmtem Papier gerieben wird poſitiv und das Papier negativ.

Eine allgemeine Regel, nach welcher man im Voraus wiſſen könnte, welcher Körper bei der Reibung poſitiv würde, kennt man noch nicht. Die Regel, daß der härtere und glatte Körper poſitiv wird, gilt in den meiſten Fällen, aber die poſitive Electricität des Katzenfelles paßt dazu nicht, und ſo finden ſich faſt überall Abweichungen. In vielen Fällen paßt die Regel, daß derjenige Körper, deſſen Theile durch mindere Härte, durch größere Rauhheit am meiſten einer Aenderung der Lage unterworfen ſind, der eben darum vielleicht auch ſich ſtärker erwärmt, der negative ſey.

Queckſilber, das am Glaſe hin und her gerieben wird, macht das Glas poſitiv electriſch. Luft, die anhaltend gegen ein Glas geblaſen wird, giebt dieſem poſitive Electricität, ſo daß man alſo annehmen muß, die Luft werde negativ. Dagegen erhält ein mehrmals durch die Luft geſchwenktes ſeidenes Tuch negative Electricität. Pulverförmige Körper, welche durch die Luft geſiebt werden, werden theils poſitiv, theils negativ.

Dieſes Hervorgehen der entgegengeſetzten Electricitäten läßt ſich auf ſehr mannichfaltige Weiſe zeigen. Stehen zwei Perſonen auf iſolirenden Fußgeſtellen mit Glasfüßen und reibt die eine mit Seidenzeug eine von der andern Perſon gehaltene Glasröhre, ſo ſind nach etwas anhaltendem Reiben beide Perſonen electriſch; jede zieht leichte Körper an und die an ihr electriſirten Körper werden wieder abgeſtoßen, aber die an der einen electriſirten Körper werden von der andern angezogen.

[1] Bei dieſen Verſuchen ſind viele Vorſichten nöthig, damit man die durch Mittheilung ſo leicht auf das Metall übergehende Electricität nicht mit der durch Reibung entſtandenen verwechſele; wenn man aber bei der Reibung der Silberplatten an Schwefel jene negativ und dieſen poſitiv erhält, ſo kann, glaube ich, kein Irrthum ſtatt finden. Da die Spuren der Electricität hier ſchwach ſind, ſo thut Bohnenberger's Electrometer, von dem ich erſt ſpäter reden kann, hier gute Dienſte. (B.) — Folgende Reihenfolge der Metalle, in welcher immer das vorangehende poſitiv, das nachfolgende negativ iſt, ſcheint den Beobachtungen am meiſten zu entſprechen: Antimon, Arſenik, Cadmium, Eiſen, Zink, Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Palladium, Kobalt, Nickel, Wismuth. (M.)

Einundſechzigſte Vorleſung.

Die Electriſirmaſchine.

Obgleich die meiſten derjenigen Verſuche, die ich neulich erwähnt habe, keine weitere Vorkehrung fordern, ſondern durch eine Reibung der in der Hand gehaltenen Körper zu Stande gebracht werden können, obgleich ferner Dufay, Gray und andre frühere Beobachter recht bedeutende Wirkungen der Electricität durch frei in der Hand gehaltene und mit der Hand oder mit einem in der Hand gehaltenen Wollen- oder Seidenzeuge geriebene Glasröhren hervorbrachten, ſo empfand man doch bald die Nothwendigkeit, ſich der Electriſirmaſchine zu bedienen, indem die Schnelligkeit und Stetigkeit der Reibung viel größere Wirkungen hervorbringt, als man bei den in der Hand gehaltenen Glasröhren erreichen konnte. Schon Guericke hatte eine Schwefelkugel mit Hülfe einer Kurbel gedreht, und auch Hawksbee bediente ſich auf ähnliche Art einer Glaskugel; aber dieſe bequeme Einrichtung war doch wieder aufgegeben worden, bis Hauſen ſie 1742 aufs neue anwandte. In dieſer früheſten Zeit der Electriſirmaſchine bediente man ſich der Glaskugeln, die mit der Hand gerieben wurden; aber Winkler fand es beſſer, ein Polſter als Reibzeug anzuwenden. Nachher ſind ſtatt der Kugeln die Cylinder, weil das Reibzeug ſich gleichförmiger an ſie andrückt, vorgezogen worden, und Cylindermaſchinen oder Scheibenmaſchinen ſind es, deren wir uns jetzt bedienen.

Bei allen Electriſirmaſchinen ſind es drei Haupttheile, die in Betrachtung kommen: der geriebene Körper, das Reibzeug und der Conductor oder Leiter, welcher die Electricität aufnimmt. Bei den Cylindermaſchinen iſt es ein hohler Glascylinder AB (XII. Fig. 17), der zur Erregung der Electricität gebraucht wird; hartes, glattes Glas, durchſichtig und weiß, wendet man am liebſten an, doch finden ſich auch Glascylinder von gutem Anſehen, die weniger geeignet ſind, ſtarke Electricität hervorzubringen, weshalb man ſie am liebſten erſt durch wirklichen Verſuch prüft. Es iſt vortheilhaft und bei minder gutem Glaſe beſonders zu empfehlen, daß man ſie inwendig mit einem harzigen Ueberzuge verſieht (aus Terpentin, Wachs und Pech, gewöhnlich mit Zinnober roth gefärbt); dieſer gewährt den Vortheil, daß ſich die Feuchtigkeit, die jedenfalls nachtheilig iſt, nicht ſo leicht anlegt. Der Cylinder wird an beiden Enden mit Axen C verſehen, deren Lage ſo ſeyn muß, daß er bei der Drehung nicht mit ſchlotterndem Gange ſich bald ſtark bald ſchwach an das Reibzeug andrücke, ſondern beſtändig eine gleiche Reibung leide. Die Axe muß nicht durchgehen, weil ſie ſonſt, aus ſpäter anzuführenden Gründen, das Hervorgehen der Electricität etwas hindert; ſie muß durch Glasſäulen DE, DE iſolirt ſeyn, damit die am Cylinder erregte Electricität nicht ſo leicht, nach der Axe überſchlagend, dort eine Ableitung gegen die Erde finde. An der Axe iſt eine Kurbel zum Drehen angebracht, derer Haupttheil aus Glas beſtehen muß, um

die Ableitung durch die Axe zu hindern. Um eine ſchnellere Drehung zu erhalten, verbindet man ein kleineres, mit der Axe ſich drehendes Rad C mit einem größern F, das durch die Hand gedreht wird.

Das Reibzeug GH beſteht aus einem weichen Polſter, welches ſich mit Federn an den Cylinder andrückt; es erſtreckt ſich nicht ganz bis an das Ende des Cylinders, weil dort die Electricität zu leicht nach der Axe überſchlägt. Die reibende Fläche muß eine ſolche ſeyn, die an Glas gerieben dieſem ſtarke poſitive Electricität ertheilt, und dazu hat man ſchon ſeit langer Zeit einen Ueberzug von Amalgam paſſend gefunden; dieſes wird auf Leder geſtrichen, welches die Vorderſeite des Polſters GH ausmacht; die Hinterſeite belegt man mit einer Metallplatte, welche ſich nahe an das Amalgam anſchließt, um die Zuleitung der Electricität zu befördern. Das Reibzeug ruht am beſten auf iſolirenden Säulen HI; denn obgleich es beim Gebrauche der Maſchine in Verbindung mit der Erde ſtehen muß, ſo iſt es doch bei manchen Verſuchen nothwendig, es iſolirt zu erhalten. Es muß zwar nicht zu ſchmal ſeyn, damit jeder Punkt des Cylinders einen nicht ganz kurzen Weg während der Reibung durchlaufe; aber es darf doch kein Viertel des Cylinders umfaſſen, weil ſonſt der Leiter zu leicht zum Zurückſchlagen von Funken auf das Reibzeug veranlaßt wird. An das Reibzeug iſt da, wo die geriebenen Theile des Cylinders daſſelbe verlaſſen, ein dünner Wachstaffent GHKL befeſtigt, um dem Cylinder bis gegen die Stelle hin, wo der Leiter die Electricität aufnimmt, zur Bedeckung zu dienen, indem ſonſt die Funken leicht von der Gegend KL auf die Hinterſeite des Reibzeuges zurückſchlagen.

Der Leiter, der bis oberhalb des Cylinders ſich erſtreckt, hat bei Z einen Einſauger, d. h. Spitzen, weil dieſe leichter die Electricität aufnehmen; durch ſie geht die Electricität auf den erſten Leiter über, der aus Meſſingblech oder mit Zinnfolie überzogenem Holz beſteht, an allen Theilen gut abgerundet ſeyn muß und auf gläſernen, mit Lack überzogenen Säulen ruht, damit die Electricität, ſo gut es immer möglich iſt, in ihm angehäuft bleibe. Die Spitzen ſind gegen den Theil des Cylinders gerichtet, der nur wenig von dem Rande des Wachstaffents KL entfernt iſt, damit der Cylinder ſogleich da, wo er aus der Bedeckung hervortritt, die Electricität abgebe. An den erſten Leiter kann man einen längern zweiten anſetzen, der die Wirkung noch verſtärkt. Um die electriſche Spannung des Conductors beurtheilen zu können, dient Henley's Electroſcop, beſtehend aus einem leichten Holzſtäbchen, das am einen Ende eine Korkkugel trägt, am andern am Mittelpunkt eines eingetheilten Halbkreiſes ſo befeſtigt iſt, daß es bei ſtatt findender Electriſirung der das Ganze tragenden kleinen Säule abgeſtoßen wird und mit derſelben einen größern oder kleinern Winkel bildet. Es wird gewöhnlich am äußerſten Ende des Conductors angebracht.

Bei den Scheibenmaſchinen, wo man ſich einer Glasſcheibe bedient (XII. Fig. 18), bleiben die Hauptumſtände, worauf es ankommt, dieſelben. Die Glasſcheibe AB iſt hier der geriebene Körper. Die durch ſie durchgehende

und mit der Kurbel oder dem Rade zur Umdrehung verſehene Axe C muß genau ſenkrecht gegen die Ebne der Scheibe ſeyn, damit nicht, bei einem ungleichen Gange der Scheibe, dieſe ſich bald ſtark bald ſchwach an das Reibzeug andrücke und durch kleine Abweichungen von der immer gleichen Lage an die Spitzen des Einſaugers der Electricität ſtoße. Man pflegt der Scheibe zwei Reibzeuge, oben und unten oder auch an beiden Enden des Horizontaldurchmeſſers, zu geben, indeß behauptet Pfaff aus eigner Erfahrung, daß ein Reibzeug in DE wegen der dann größern Entfernung von dem Einſauger FG der Electricität wohl noch zweckmäßiger ſey, und auf jeden Fall iſt dieſes bequemer. Das Reibzeug ſteht auf einer iſolirenden Säule HI und der Leiter, welcher bei G die Electricität empfängt, auf einer iſolirenden Säule LM. Auch hier bedeckt ein dünner Wachstaffent, der an das Reibzeug DE befeſtigt iſt und die nach der Reibung ſich vom Reibzeuge entfernenden Theile der Scheibe vor dem Verluſte der Electricität ſchützt, den Theil der Scheibe, welchen die geriebenen Theile durchlaufen, bis ſie in FG ihre Electricität dem Leiter übergeben. Weder das Reibzeug noch der Einſauger gehen bis nahe an die Axe, ſondern ſie laſſen einen Theil in der Mitte frei, da von dieſem die erregte Electricität ſich zu leicht nach der Axe begeben würde. Dieſe iſt freilich iſolirt, und auch die Kurbel muß, um die Ableitung zu verhüten, von Glas ſeyn, aber dennoch iſt es auch hier ſchwer, bei ſtarken Ladungen alle Ableitung ganz zu vermeiden. Das Reibzeug iſt bei DE an beiden Seiten der Scheibe angebracht und beſteht, ſo wie bei der Cylindermaſchine, aus einem mit Amalgam beſtrichenen weichen Polſter, das von beiden Seiten durch Federn angedrückt wird, an ſeiner Hinterſeite aber Leiter hat, die man mit einem größern Leiter DN in Verbindung ſetzt, um an dieſem die Veränderungen zu beobachten, welche in der Electricität des Reibzeuges vorgehen. Iſt die Scheibe nach Pfaff's Angabe eingerichtet, ſo muß der Wachstaffent faſt die halbe Scheibe an beiden Seiten bedecken. In GF befinden ſich wieder an beiden Seiten der Scheibe die Einſauger, die zwar Spitzen darbieten, welche jedoch von einem ebnen Rande ſo umgeben ſind, daß die Scheibe nicht ſo leicht an ſie anſtoßen und ihre Politur beſchädigen kann. Der Leiter L iſt ganz wie bei den Cylindermaſchinen. Bei Scheibenmaſchinen kann man an derſelben Axe zwei Scheiben verbinden, wo dann für jede Scheibe eben die Stücke vorkommen müſſen, die Reibzeuge aber mit dem einzigen Leiter HN und die Einſauger mit dem einzigen Leiter L in Verbindung ſtehen.

Man hat manche andre Körper ſtatt des Glaſes als Hauptkörper der Electriſirmaſchine vorgeſchlagen, theils der Wohlfeilheit wegen, theils um ſtatt der poſitiven Electricität an dem geriebenen Körper negative zu erhalten. In Hinſicht auf den erſten Zweck hat man Scheiben von gedörrtem Holze empfohlen, die mit gut gegerbten Maulwurfs- oder Rattenfellen gerieben wurden und dann an der Scheibe und dem mit ihr in Verbindung geſetzten Conductor negative Electricität gaben. Noch wirkſamer ſind die von Lichtenberg aus ſchwarzem Wollenzeuge, von Walkiers und Rouland aus Taffent

verfertigten Electriſirmaſchinen. Es wird nämlich dieſer Zeug um die beiden Cylinder G und H (XII. Fig. 19) gezogen und beide Enden zuſammengenäht; dann zieht man die beiden Cylinder ſo aus einander, daß der Taffent oder das Wollenzeug ſtraff angezogen iſt, damit dieſe Fläche von Seide oder Wolle bei der Drehung eines Cylinders mit zum Umlaufen komme; an dem Cylinder ſelbſt bringt man ein Reibzeug von Katzenpelz an und läßt den Leiter S die von beiden Seiten zugeführte Electricität aufnehmen. Dieſe iſt dann negativ und kann bei hinreichender Größe der Maſchine und guter Erwärmung der geriebenen Zeuge ſehr bedeutende Wirkungen hervorbringen. Den Vorzug behalten indeß immer die zuerſt beſchriebenen Maſchinen, von deren großen Wirkungen ich in der Folge noch mehr ſagen werde.[1]

Ob die Cylindermaſchinen oder die Scheibenmaſchinen den entſchiedenen Vorzug verdienen, darüber iſt lange geſtritten worden, indeß kann man, wenn es auf die allerſtärkſten Wirkungen ankommt, wohl nicht leugnen, daß die Scheibenmaſchinen die kräftigern ſind, wenn gleich zu Verſuchen geringerer Art die Cylindermaſchinen mehr Bequemlichkeit gewähren. Da es nämlich vorzüglich, bei ſonſt gleichen Umſtänden, auf die Größe der in gleicher Zeit durch Reibung electriſirten Fläche, zugleich aber auch auf die Schnelligkeit der Bewegung ankommt, ſo gewähren große Scheiben ſowohl in Rückſicht auf den Inhalt der zur Reibung gelangenden Fläche, als in Rückſicht auf die Schnelligkeit, mit welcher die Fläche an dem Reibzeuge vorbeigeht, einen großen Vortheil. Glascylinder kann man nicht von allzu großem Durchmeſſer machen und Cylinder von 2 Fuß Durchmeſſer, woran das Reibzeug eine Länge von 1 Fuß hätte, würden ſchon die größten ſeyn, die man etwa erhalten könnte; dagegen ſind Glasſcheiben von 5 Fuß Durchmeſſer, und noch dazu zwei zugleich an einer Axe gedreht, ausgeführt worden. Ginge nun jener Cylinder auch viermal um, während die Scheibe eine Umdrehung macht, ſo betrüge dort die geriebene Fläche etwa 25 Quadratfuß in der Zeit, wo die Scheibe einmal umläuft; an dieſer aber iſt die an jeder Seite geriebene Fläche wenigſtens 10 Quadratfuß und alſo an zwei verbundenen Scheiben 40 Quadratfuß und die Scheiben haben dann ſelbſt in ihren entfernteſten Punkten noch nicht die ſehr große Geſchwindigkeit, die ich dem Cylinder beigelegt habe, ſo daß, wenn man jenen eben dieſe Geſchwindigkeit ertheilte, der Vortheil auf der Seite der Scheibe noch bedeutender wäre. Auch in Hinſicht auf die immer gleiche Wirkſamkeit ſcheint es leichter, der ganz ebnen Scheibe größere Vollkommenheit zu geben, als dem Cylinder, deſſen wahre Axe ſchwerlich ſo genau mit der eingeſetzten Axe übereinſtimmen wird und der ſich daher leicht in einigem

[1] Eine ungemein compendiöſe Electriſirmaſchine hat der Americaner Page angegeben. Sie hat die Form einer gläſernen Spritze und beſteht aus einer äußerlich gefirnißten, etwa 6 Zoll langen Glasröhre, in welcher ſich ein mit amalgamirtem Leder umwundener reibender Metallſtempel auf und nieder bewegt. Der letztere iſt durch eine 1¼ Zoll lange Glasröhre mit dem ſternförmigen Einſauger verbunden, von welchem eine lange feine Drahtkette nach dem aufgeſchraubten Conductor geht. Der Erfinder hat zuweilen nach wenigen Stempelzügen Funken von 1 Zoll Länge am Conductor erhalten. (M.)

Grade ungleich an das Reibzeug preßt. Verſuche, beſonders von Cuthbertſon und Singer, haben auch dieſen Vorzug dargethan.

Damit man aber mit einem Cylinder oder einer Scheibe von gegebner Größe alle die Wirkungen hervorbringe, deren ſie fähig ſind, kommt es auf eine Menge einzelner Umſtände an. Die Schnelligkeit der Reibung iſt, ſofern man ſie ohne andre Unbequemlichkeit ſteigern kann, eines der wichtigſten Beförderungsmittel. Eine gute Iſolirung, damit keine Electricität verloren gehe, ein gutes Amalgam an dem Reibzeuge, [1] eine ſtarke Zuleitung der Electricität zu dem Reibzeuge hin, ja ſelbſt die richtig gewählte Dicke des Wachstaffents, der zwiſchen dem Reibzeuge und dem Conductor den Cylinder oder die Glasſcheibe bedeckt und ſich glatt anlegen muß, tragen zur Verſtärkung der Wirkung weſentlich bei. Auch die Größe und Geſtalt des Conductors ſind nicht gleichgültig für die Wirkung der Maſchine. Offenbar nimmt ein großer Leiter mehr Electricität auf und giebt daher ſtärkere Wirkungen, beſonders ſtärkere Funken; indeß nimmt dieſe Wirkung nicht immerfort zu, weil eine große Oberfläche auch zu mehr Verluſt an die Luft Gelegenheit giebt. Warum vorzüglich eine größere Länge des Conductors vortheilhaft iſt, wird ſich in der Folge ergeben. Möglichſt vollkommene Iſolirung und trockene Luft ſind die wichtigſten Umſtände, worauf es vor allem ankommt.

Einige Verſuche mit der Electriſirmaſchine.

Alle Verſuche, die man mit einer in der Hand gehaltenen und geriebenen Glasröhre anſtellen kann, laſſen ſich vollkommener und mit mehr Leichtigkeit mit der Electriſirmaſchine anſtellen. Nähert man den Kopf dem geladenen Leiter oder auch dem geriebenen Glaskörper, ſo werden die Haare gegen den electriſirten Körper angezogen, und da eben dieß in Beziehung auf die kleinen Haare ſtatt findet, die ſich an jedem Theile der Haut befinden, ſo wird durch die geringe Bewegung derſelben ein eigenthümliches Gefühl hervorgebracht; wenn man Funken aus dem Conductor überſchlagen läßt, während das Geſicht ſich in der Nähe deſſelben befindet, ſo bemerkt man einen Wechſel in jenem Gefühle bei jedem hervorgehenden Funken.

Wenn ein Menſch ſich iſolirt, z. B. auf einem mit Glasfüßen verſehenen Schemel, electriſiren läßt, ſo richten ſeine Haare ſich auf, weil ſie einander abſtoßen; leichte Körper in die Nähe des Menſchen gebracht werden von ihm, wie von andern electriſirten Körpern, angezogen und, nachdem ſie Electricität erhalten haben, abgeſtoßen. Läßt man zwei Menſchen auf zwei verſchiedenen Iſolirſchemeln ſich von demſelben Leiter aus electriſiren, ſo können ſie einander berühren, ohne Funken zu geben oder einen Schlag zu bekommen; theilt man aber durch irgend eine Veranſtaltung dem einen poſitive, dem andern negative

[1] Das Kienmayer'ſche Amalgam aus 2 Th. Queckſilber, 1 Th. Zink und 1 Th. engl. Zinn oder das Singer'ſche aus 6 Th. Queckſilber, 2 Th. Zink und 1 Th. Zinn ſind zu empfehlen, doch muß man auch bei der Bereitungsart auf beſtimmte Weiſe (S. Gehler's Wörterb. Art. Amalgama) verfahren. Verſchiedene Glasarten ſcheinen auch etwas ungleiche Amalgame zu fordern. Ohne Zweifel ſind die Amalgame darum ſo wirkſam, weil ſie ſelbſt ſehr geneigt ſind, negativ zu werden.

Electricität mit, ſo werden die Körper, welche vom einen abgeſtoßen wurden, vom andern angezogen, und wenn beide Menſchen ſich berühren, ſo werden Funke und Schlag deſto lebhafter. Von dieſen Wirkungen will ich indeß hier noch nicht umſtändlich reden, da ich von dem electriſchen Lichte in der Folge mehr ſagen werde und die Empfindungen bei dem Schlage uns hier auch noch nicht beſchäftigen ſollen.

Als ein bloßer Erfolg der gegenſeitigen Abſtoßung iſt dagegen folgende Erſcheinung anzuſehen. Wenn man in ein Gefäß mit Waſſer einen Heber ſetzt, deſſen Ausflußröhre ein enges Haarröhrchen iſt, ſo fließt der Heber, wenn er auch gehörig gefüllt iſt und ſeine Oeffnung niedriger liegt, als die Oberfläche des Waſſers im Gefäße, doch entweder gar nicht oder nur in langſam auf einander folgenden Tropfen; aber wenn man das Waſſer electriſirt, indem man es in einem metallenen Gefäße an den Leiter anhängt, ſo fließt der Heber fortwährend und das Waſſer wird ſogar mit Gewalt herausgeſtoßen. Die electriſirten Waſſertheile, die an der Mündung liegen, werden von den anliegenden abgeſtoßen und herausgetrieben. Selbſt an einem einzelnen Waſſertropfen, der am Conductor hängt, ſieht man, daß er ſich verlängert und eine ſpitzige Form annimmt, wenn man, während der Conductor electriſirt iſt, einen andern Körper dem Tropfen nähert.

Andre Anziehungs- und Abſtoßungsverſuche laſſen ſich zahlreich anſtellen. Baumwolle, die man dem geladenen Leiter nahe bringt, ſtreckt zuerſt alle Fäden gegen den Conductor aus, fliegt dann gegen ihn zu, wird nun wieder abgeſtoßen, und wenn ſie am Conductor feſthängt, ſtoßen die einzelnen Fäden einander ab. Rauch, den man in der Nähe des electriſirten Leiters erregt, wird von ihm angezogen. Campher, den man auf einer eiſernen Unterlage anzündet, dann ausbläſt und ſogleich, während er noch raucht, dem electriſirten Leiter nähert, bildet eine Menge kleiner Spitzchen, die durch die Anziehung des Leiters gegen die noch nicht erhärteten Theile entſtehen. Ein ähnlicher Verſuch mit Siegellack giebt einen ähnlichen Erfolg, aber nicht ſo feine Spitzen.

Entgegengeſetzte Electricitäten des Reibzeugs und des geriebenen Körpers.

Aber weit belehrender als dieſe, nur Bekanntes wiederholenden, Verſuche ſind die, wo man die eigentliche Art der Wirkſamkeit des Reibzeuges zeigt. Ich habe ſchon früher erwähnt, daß man das Reibzeug der Maſchine ſo einzurichten pflegt, daß man es iſoliren kann; wir wollen dieſe Einrichtung zu folgenden Verſuchen benutzen. Man bringt eine leitende Kette an dem Reibzeuge an, damit dieſes mit allen benachbarten Körpern in Verbindung ſtehe; dann wird, bei fortwährender Drehung und Reibung des Glascylinders, der Leiter auf einen ihm genäherten ableitenden Körper unaufhörlich Funken geben, ohne daß bei längerer Dauer des Reibens eine Schwächung der Wirkung bemerkbar würde. Aber nun nehme man die am Reibzeuge angebrachte Kette ab, ſo daß das Reibzeug iſolirt iſt, ſo zeigt ſich zwar bei

anfangender Drehung der Maſchine der Leiter wieder electriſch und giebt mehrere Funken, aber dieſe folgen ſich immer langſamer, und ſchon nach kurzer Dauer des Verſuches hört die Wirkung des Reibens beinahe ganz auf. Setzt man die Reibung des Glaſes am iſolirten Reibzeuge immer fort, während der zum Ueberſchlagen der Funken in geringer Entfernung vom Conductor aufgeſtellte Körper noch immer ſeine Stelle einnimmt, und nähert man nun den Finger dem Reibzeuge, ſo zeigt ſich zwiſchen dem Finger und dem Reibzeuge ein Funke, und ſo wie dieſer überſchlägt, giebt auch der Conductor wieder einen Funken, deſſen Erſcheinung ſich wiederholt und unausgeſetzt wiederholt, wenn man bei fortgeſetzter Drehung der Maſchine aus dem dem Reibzeuge genäherten Körper Funken auf dieſes übergehen läßt. Die Reibung giebt alſo nur dann Electricität, wenn das Reibzeug mit andern Körpern in leitender Verbindung ſteht oder ſelbſt Electricität zugeführt erhält. Der Verſuch läßt ſich noch auf eine andre Weiſe abändern. Man iſolirt das Reibzeug, läßt aber eine leitende Kette von dem Conductor zum Reibzeuge hinübergehen, ſo giebt weder der Conductor noch das Reibzeug einem dargebotenen Körper Funken; wenn man nun ſtatt einer ununterbrochenen Leitung eine Kette anbringt, deren Metallglieder durch kleine Glasknöpfe oder durch kurze Stückchen ſeidener Schnur von einander getrennt ſind, ſo ſieht man unaufhörlich die Funken des Conductors von Glied zu Glied zum Reibzeuge hinübergehen, und der Kreislauf der vom Reibzeuge zum Cylinder, zum Conductor, zur Kette und wieder zum Reibzeuge gelangenden poſitiven Electricität liegt uns deutlich vor Augen.

Sie ſehen leicht, daß dieſe Verſuche uns noch mehr lehren können. Die ſchon früher gemachte wichtige Bemerkung, daß einer der geriebenen Körper negativ electriſch wird, indem der andre poſitive Electricität annimmt, leitet uns zu dem Gedanken, den electriſchen Zuſtand des iſolirten und auch mit dem Leiter L nicht in Verbindung geſetzten Reibzeuges genauer zu unterſuchen. Um dieſes zu thun, bringt man an dem Reibzeuge einen eben ſolchen iſolirten Leiter an, wie derjenige iſt, der von dem geriebenen Glaſe die Electricität empfängt, wie HN (XII. Fig. 18), und läßt dieſen Leiter während der Wirkung der Maſchine mit dem Reibzeuge in Verbindung. Schon nach den erſten Umdrehungen der Maſchine zeigen ſich beide Leiter electriſch, beide ziehen leichte Körper an und ſtoßen ſie nach der Mittheilung ab; aber wenn man einen iſolirt gehaltenen, vom Reibzeugconductor abgeſtoßenen Körper dem Hauptleiter, der mit dem geriebenen Glaſe in Verbindung ſteht, nähert, ſo wird er hier angezogen, und ebenſo im umgekehrten Falle. Bringt man einen größern, iſolirt gehaltenen Körper an den Leiter des Reibzeugs und läßt ihn da ſich laden, ſo entſteht, wenn er dem Leiter am Glascylinder genähert wird, ein Funke zwiſchen beiden; und ebenſo umgekehrt, wenn man einen vom Glaſe her geladenen Leiter iſolirt zu dem Leiter des Reibzeuges bringt, ſo ſchlägt ein Funke über, welches nicht der Fall iſt, wenn man den am einen Leiter geladenen Körper eben dieſem Leiter wieder darbietet.

Das Reibzeug wird alſo negativ electriſch, während das Glas poſitiv wird,

und umgekehrt wird das aus Pelz beſtehende Reibzeug poſitiv, wenn man Schwefel, Seidenzeug oder Wollenzeug, die negativ werden, als geriebene Körper anwendet. Dieſe Erfahrung kann uns zu einer genaueren Theorie der electriſchen Erſcheinungen leiten, und wenn gleich Franklin ſchon viel mehr Erfahrungen vor ſich hatte, als ich bis jetzt angeführt habe, ſo werde ich doch Franklin's Theorie und dann auch die ihr gegenüberſtehende ſchon hier erklären.

Franklin's Theorie der electriſchen Erſcheinungen.

Nach Franklin's Anſicht iſt die electriſche Materie in allen Körpern verbreitet; aber im natürlichen Zuſtande der Körper befindet ſie ſich im Gleichgewichte, ſo daß ſie kein Beſtreben hat, vom einen Körper zum andern überzugehen. Wir müſſen es alſo ſo anſehen, als ob jeder Körper ſeiner Natur nach geeignet iſt, eine gewiſſe Menge electriſcher Materie zu enthalten; dieſe braucht nicht nothwendig bei allen gleich zu ſeyn, ſondern eine Anziehungskraft der Körper, die vielleicht ungleich iſt, könnte wohl bewirken, daß die größere Menge Electricität auf dem einen, feſtgehalten durch eine ſtärkere Anziehung, doch nicht zu dem andern Körper überginge, wenn auch er die Menge von Electricität hat, die ſeiner eigenthümlichen Natur angemeſſen iſt. Doch über dieſe Gleichheit oder Ungleichheit im natürlichen Zuſtande können wir gar keine Vermuthung aufſtellen. Die Reibung ſtört dieſes natürliche Gleichgewicht, und auf eine Weiſe, die wir nicht weiter erklären können, wird durch dieſelbe das Glas fähig, den gewöhnlichen Reibzeugen electriſche Materie zu entziehen, ſo daß ſie an dem Glaſe geſammelt wird und dort in wirklich vermehrter Menge vorhanden iſt. Das Glas iſt alſo nach dieſer Anſicht im eigentlichen Sinne poſitiv geladen, und das Reibzeug hat Electricität hergegeben, es iſt alſo in einen Zuſtand des Mangels an Electricität verſetzt, im eigentlichen Sinne negativ electriſch. Steht das Reibzeug mit der Erde oder auch nur mit einigen größern Körpern in leitender Verbindung, ſo wird dieſer Mangel an Electricität im Reibzeuge in jedem Augenblicke erſetzt, und das Reibzeug zeigt keine Electricität, weil es ſich die ihm entzogene electriſche Materie aus einer unerſchöpflichen Quelle wieder verſchafft; dagegen zeigt ein iſolirtes Reibzeug ſich in der That negativ electriſch. Jene Fähigkeit des Glaſes, im Augenblicke der Reibung dem ihn reibend berührenden Körper electriſche Materie zu rauben oder eine verſtärkte Anziehung auf die electriſche Materie auszuüben, dauert aber nur für den Augenblick des Reibens. Das Glas hat nun mehr electriſche Materie, als ihm nach dem natürlichen Zuſtande zukommt, und ſobald ein geriebener Punkt nicht mehr der Reibung unterworfen iſt, tritt dieſe als freie Electricität hervor, das Glas zeigt ſich als geladen, und die electriſche Materie ſtrebt, einer verdichteten elaſtiſchen Flüſſigkeit vergleichbar, zu den Körpern hinüber, die davon weniger, das heißt, nur ſo viel beſitzen, als ihrem natürlichen Zuſtande gemäß iſt.

Dieſes Beſtreben der electriſchen Materie, von einem Körper, der mehr

beſitzt, zu dem hinüber zu gelangen, welcher weniger beſitzt, veranlaßt uns, dieſer Materie eine abſtoßende Kraft ihrer eignen Theilchen gegen einander oder ein Beſtreben ſich auszubreiten beizulegen; daher iſt das Gleichgewicht der Electricität zwiſchen allen Körpern nur im natürlichen Zuſtande möglich, zwiſchen zwei einzelnen Körpern aber nur dann, wenn ſie ſich beide in einem gleichen Zuſtande des Ueberfluſſes oder Mangels befinden, und die electriſche Materie ſtrebt von dem poſitiv geladenen Körper zu dem hinüber, der im natürlichen Zuſtande oder negativ iſt, und von dem Körper im natürlichen Zuſtande zu dem negativ electriſchen. Berühren dieſe ungleich mit Electricität geladenen Körper ſich unmittelbar und ſind ſie beide Leiter, ſo theilt ſich die in ihnen vorhandene Electricität gleichmäßig unter ſie; ſind ſie nicht in unmittelbarer Berührung, ſo zeigt ſich zuerſt eine Anziehung, der weniger electriſche Körper wird von dem ſtärker electriſchen angezogen, aber wenn dieſe Anziehung auch keine Berührung hervorbringt, ſo findet doch, bei hinreichendem Unterſchiede der electriſchen Ladung und hinreichender Nähe, das Ueberſchlagen eines Funkens und dadurch eine Mittheilung von dem einen Körper an den andern ſtatt.

In Hinſicht auf die Leiter und Nichtleiter bemerken wir aber hier einen weſentlichen Unterſchied. Auf der Oberfläche der erſtern zeigt ſich die electriſche Materie als ſo beweglich, daß ſie ohne Zeitverluſt diejenige Austheilung über den ganzen Körper oder über die Reihe von Körpern annimmt, die dem Beſtreben der angehäuften electriſchen Materie, ſich nach den Punkten zu begeben, welche weniger davon beſitzen, angemeſſen iſt; die Nichtleiter ſcheinen dagegen die electriſche Materie in jedem Punkte feſtzuhalten, ſo daß ſie zwar ihre Wirkung auf benachbarte Körper durch Anziehung und ihre Wirkung auf die benachbarte electriſche Materie durch Abſtoßung zeigt, doch aber nur ſehr langſam von einem Punkte des Nichtleiters zum andern übergeht. Da die Luft ein ſolcher Nichtleiter iſt, ſo geht auch in ihr die Electricität nur langſam von einem Punkte zum andern über, obgleich die Wirkung auf entfernte Körper ſich auch durch die Luft fort erſtreckt.

Mit der negativen Electricität verhält es ſich in Rückſicht der Erſcheinungen ebenſo, indem der in einem Punkte eines Leiters entſtandene Mangel an Electricität ſofort einen gleichen Zuſtand für den ganzen Leiter zur Folge hat, weil die electriſche Materie von den andern Punkten des Körpers ſich ſogleich nach demjenigen Punkte ergießt, welcher einen Verluſt erlitten hat, dagegen auf dem Nichtleiter nur der geriebene Punkt ſelbſt ſich als negativ zeigt, weil das Zuſtrömen von den benachbarten Punkten nicht ſtatt findet. Die Wirkung in die Ferne müſſen wir hier durch ein eben ſolches Hinſtreben der electriſchen Materie, die in der Luft und den umgebenden Körpern iſt, nach dem Punkte zu, wo der Mangel ſtatt findet, erklären, wie wir ſie durch ein Hinſtreben nach den umgebenden Körpern da erklärten, wo Ueberfluß ſtatt fand. Der luftleere Raum verhält ſich ganz wie ein Leiter der Electricität, die Electricität ſtrömt darin aus, weil ſie nicht mehr durch die nicht leitende Luft zurückgehalten

wird. Daß die Ableitung von den poſitiv electriſchen und die Hinleitung zu den negativ electriſchen Körpern auf gleiche Art ſtatt findet, erhellt von ſelbſt.

Die Erſcheinungen der Anziehung und Abſtoßung erklären ſich nach Franklin's Anſicht am beſten auf folgende Weiſe, obgleich Franklin ſelbſt ſich nicht für dieſe Erklärung entſchieden zu haben ſcheint. Da die Electricität eine anziehende Kraft auf die Körper ausübt oder gegentheils auch von ihnen angezogen wird, ſo bewegt der leichtere Körper ſich dahin, wo ungleiche Anhäufung der Electricität ihn hintreibt, das iſt, wenn der leichtere Körper mehr Electricität beſitzt als der benachbarte, ſo ſtrebt die Electricität zu dieſem hinüber und führt ihn, als den leichter nachgebenden, mit fort, beſitzt aber der leichtere weniger, ſo wird er von dem reichlicher mit Electricität begabten angezogen, und dieß findet ſtatt, der eine mag im natürlichen Zuſtande und der andre poſitiv, oder der eine mag negativ und der andre im natürlichen Zuſtande, oder endlich der eine negativ, der andre poſitiv ſeyn. Zwei electriſirte Körper ſtoßen einander ſcheinbar ab. Man erklärt dieß am beſten durch die Anziehung gegen die umgebende Luft. Die Kugeln b, c (XII. Fig. 20) enthalten mehr electriſche Materie, als ihnen im natürlichen Zuſtande zukommt, dann werden die Lufttheilchen in a von beiden Seiten gleich, die bei d nur nach einer Seite angezogen; mit dem Heranziehen der Theilchen d gegen c iſt auch ein Entgegengehen der Kugel c gegen d verbunden, und ebenſo geht b nach e zu. So verhält es ſich, wenn b und c poſitiv ſind; im Falle, daß ſie negativ ſind, werden ſie offenbar von der in den Lufttheilchen d, e enthaltenen Electricität nach entgegengeſetzten Richtungen gezogen, und die Einwirkung der Theilchen a, die nach beiden Seiten gleich gezogen werden, kommt nicht in Betrachtung.

Dieſe Theorie empfiehlt ſich durch ihre Einfachheit, indem nur eine electriſche Materie angenommen und der Ueberfluß und Mangel, das + E und — E, zwiſchen denen der natürliche Zuſtand als Null, weder Anhäufung noch Mangel, liegt, im eigentlichen Sinne verſtanden wird. In der Folge bieten ſich indeß mehrere Zweifel gegen dieſe Anſicht dar, und obgleich ſie bei den zunächſt anzuführenden Erſcheinungen beinahe ebenſo gut als die zweite Theorie ausreicht, ſo iſt man doch oft genöthigt, der Vorausſetzung, daß es zwei electriſche Materien giebt, den Vorzug zuzugeſtehen.

Dualiſtiſche Theorie.

Ein ſich ſogleich darbietender und von den Gegnern Franklin's ſehr hervorgehobener Zweifel iſt der, daß die Wirkungsart des Mangels an Electricität vollkommen der Wirkung des Ueberfluſſes gleich iſt, ſo ſehr, daß man durchaus nicht mit Gewißheit ſagen kann, ob wirklich die Glaselectricität als die wahrhaft poſitive, als Anhäufung electriſcher Materie, anzuſehen ſey. Die Gründe, welche Franklin beſtimmten, der Glaselectricität den Namen der poſitiven beizulegen, die in dem Anſehen des aus Spitzen ausſtrahlenden Lichtes, in der Stärke und Richtung des Funkens u. ſ. w. liegen, ſind, wie

ich künftig noch anführen werde, keineswegs entſcheidend. Schon Symmer fand es daher angemeſſener, zwei electriſche Materien anzunehmen, die ich die poſitive und die negative Materie nennen werde, obgleich ſie hier alle beide als gleich eigenthümlich angeſehen werden.

Da die Erfahrung uns zeigt, daß beide electriſche Zuſtände aus dem natürlichen Zuſtande der Körper mit gleicher Leichtigkeit hervorgehen, ſo ſind wir genöthiget, bei der Vorausſetzung zweier electriſcher Materien anzunehmen, daß die Körper in ihrem natürlichen Zuſtande beide Materien enthalten, daß dieſe aber da, weil ſie ſich gegenſeitig ſehr ſtark anziehen, ſich in einem gebundenen Zuſtande befinden und keine von beiden ſich kenntlich macht, weil die eine durch die Anziehung der andern unthätig erhalten wird. Bei der Reibung zweier ungleichartiger Körper an einander trennen ſich die beiden electriſchen Materien, und es verhält ſich ſo, als ob im Augenblicke der Reibung der eine Körper eine verſtärkte Anziehung für die poſitiv=electriſche und eine verminderte gegen die negativ=electriſche Materie erhielte, während bei dem andern das Entgegengeſetzte ſtatt findet; wir ſehen daher jenen poſitiv, dieſen negativ geladen, das heißt, jener hat poſitiv=electriſche Materie aufgenommen und negativ=electriſche abgegeben, ſtatt daß der zweite negativ=electriſche Materie empfangen und ſeine poſitiv=electriſche zum Theil an den erſten abgetreten hat. Dieſe Trennung, wozu in dem Reiben die Veranlaſſung lag, erſcheint ſogleich, wenn die Reibung aufhört, als ein unnatürlicher Zuſtand, indem die nur im Momente des Reibens verſtärkte Anziehung des einen Körpers gegen die poſitiv=electriſche, des andern gegen die negativ=electriſche Materie nun nicht mehr ſtatt findet und daher jede von beiden wieder auszuſtrömen, ſich mit der entgegengeſetzten zu verbinden, ſtrebt. In dieſem Beſtreben der einen angehäuften electriſchen Materie, ſich in andre Körper zu ergießen und dagegen aus dieſen die entgegengeſetzte Materie herüberzuziehen, zeigt ſich uns der Zuſtand der Ladung, deſſen Wirkungen daher genau gleich ſind, es mag die poſitive oder die negative Materie im Uebermaaß in einem Körper vorhanden ſeyn.

Die Erſcheinungen erklären ſich vollkommen, wenn wir annehmen, daß die Theilchen der poſitiv=electriſchen Materie ſich gegenſeitig abſtoßen und daher nach weiterer Ausbreitung ſtreben, daß ſie dagegen die Theilchen der negativ=electriſchen Materie ſtark anziehen. Befinden ſich zwei gleichartig und gleich ſtark geladene Körper neben einander, ſo kann keine Mittheilung, auch kein Hinüberſchlagen eines Funkens ſtatt finden, weil jeder von beiden nicht genug von der andern electriſchen Materie hat und dieſe, als feſt gehalten durch das Uebermaaß der entgegengeſetzten Materie, nicht an den andern Körper abgiebt, auch jeder die bei ihm im Uebermaaß vorhandene Materie von dem andern Körper abgeſtoßen findet. Iſt dagegen einer im natürlichen Zuſtande, der andre poſitiv geladen, ſo wird freilich die negativ=electriſche Materie des erſtern durch die mit ihr verbundene poſitive Materie angezogen und feſtgehalten, aber die im zweiten Körper verdichtete poſitive Materie übt, wenn dieſer nahe genug

kommt, eine ſtarke Anziehung auf jene negative Materie aus, und es entſteht, da dieſe Anziehung gegenſeitig iſt, ein Beſtreben zur Vereinigung, ein Beſtreben, durch einen übergehenden Funken die Ausgleichung, das Ausſtrömen der poſitiv-electriſchen Materie zu bewirken, die in der Reihe der mit der Erde in Verbindung ſtehenden Körper Gelegenheit genug findet, ſich mit negativ-electriſcher Materie zu verbinden. Daß dieſe Wirkung noch lebhafter erfolgen muß, wenn der eine Körper poſitiv, der andre negativ iſt, erhellt von ſelbſt.

Wenn der geladene Körper leicht genug beweglich iſt, ſo wird er durch die anziehende Kraft, die von der entgegengeſetzten Electricität eines ungeladenen oder auch entgegengeſetzt geladenen Körpers auf ſeine Electricität ausgeübt wird, zu dieſem hingezogen, und wir beobachten die electriſche Anziehung; befindet ſich dagegen der geladene Körper in der Nähe eines gleichartig geladenen Körpers, ſo ſtoßen ſich die Theile der im Uebermaaß vorhandenen electriſchen Materie gegenſeitig ab, und die Körper ſelbſt folgen dieſer Abſtoßung, wenn ſie leicht genug ſind, zugleich aber ſucht jeder die in der umgebenden Luft enthaltene entgegengeſetzte Electricität anzuziehen und entfernt ſich daher von dem andern Körper.

Es läßt ſich hier noch eine Bemerkung hinzufügen, von der wir nicht wiſſen, ob ſie irgend eine Beziehung auf wirkliche Erſcheinungen hat. Bei allen Erſcheinungen, die wir kennen, ſcheint ohne Ausnahme für jeden Antheil poſitiv-electriſcher Materie, der zum einen Körper übergeht, ein gleicher Antheil negativ-electriſcher Materie zum andern Körper überzugehen; aber es ſcheint nicht geradezu eine abſurde Frage zu ſeyn, ob es denn nicht einen electriſchen Zuſtand der Körper geben könne, bei welchem beide electriſche Materien dem Körper entzogen und er ſo recht eigentlich in einen Zuſtand des Mangels an aller electriſchen Materie verſetzt würde. Indeß findet dieſe Frage in Erſcheinungen, die wir bis jetzt kennen, keine Beantwortung; nach der Franklin'ſchen Theorie ließe ſie ſich gar nicht aufſtellen.

Nähere Beſtimmung der Geſetze der Anziehung und Abſtoßung electriſirter Körper.

Ehe ich zu andern Erſcheinungen übergehe, welche ſich uns in den electriſchen Wirkungen zeigen, will ich hier noch eine Frage beantworten, deren Beantwortung uns bei vielen Erſcheinungen wichtig wird, nämlich, wie die electriſchen Anziehungen und Abſtoßungen von der Entfernung abhängen, in welchem Maaße ſie abnehmen, wenn die Entfernung zunimmt. Die Coulomb'ſche Drehwaage iſt am meiſten geſchickt, dieſe Frage zu beantworten. Aus der neulich gegebenen Beſchreibung wiſſen Sie, daß eine am Gefäße befeſtigte, iſolirte Kugel C der beweglichen, gleichfalls iſolirten Kugel A (XII. Fig. 15) gegenüberſteht, und daß man durch eine Drehung der Klemme F bewirken kann, daß der Faden ganz ungedreht iſt, wenn beide Kugeln ſich berühren. In dieſer Stellung befinde ſich das Inſtrument, indem beide an einander liegende Kugeln eine ſchwache Ladung erhalten, ſo iſt, wie Sie wiſſen, der Erfolg eine

gegenſeitige Abſtoßung, wodurch die Kugel A um eine Anzahl Grade fortgeführt wird. Da die Abſtoßung bei zunehmender Entfernung abnimmt, die Drehung aber einen immer größern Widerſtand entgegenſetzt, ſo tritt bei einer gewiſſen Stellung das Gleichgewicht ein; ich will als Beiſpiel annehmen, dieß geſchehe, wenn der Drehungswinkel 40° iſt, dann könnten wir ſagen, bei 40° Abſtand [1] ſey die abſtoßende Kraft der Drehungskraft von 40° gleich. Um nun zu ſehen, welche Kraft einer geringern Entfernung entſpricht, dreht man die Klemme bei F ſo, daß die Kugel A gezwungen wird, gegen C zu zu gehen, und ſetzt dieſe Drehung ſo lange fort, bis die Kugel auf 20° Abſtand geführt iſt, alſo die halbe Entfernung erreicht hat. Um dieß zu bewirken, muß offenbar der Zeiger an F nicht bloß um 20° zurückgedreht werden, ſondern wegen der bei der Annäherung an C zunehmenden abſtoßenden Kraft um ſo viel, bis Drehungskraft und Abſtoßungskraft ſich wieder das Gleichgewicht halten; Coulomb's und Biot's Erfahrungen zeigen, daß in unſerm Falle die Drehung bei F 140° würde betragen müſſen, ſo daß die unten noch ſtatt findende Drehung = 20° mit der Aenderung der Stellung = 140° zuſammen 160° Drehung beträgt. Jene Verſuche zeigen nämlich, daß in der halben Entfernung die vierfache Kraft (alſo = 4 . 40° Drehung) ſtatt findet, und daß bei einem Viertel der Entfernung die Kraft auf das Sechzehnfache ſteigt, alſo in unſerm Verſuche bei 10° Abſtand die Drehungskraft = 640° ſeyn oder die Klemme F um einen ganzen Umfang und noch 270° gedreht werden müſſe, damit 10° unten und 360° + 270° = 630° oben jene 640° ausmachen. Ich habe hier immer ſo gerechnet, als ob die abſtoßende Kraft ganz zur Drehung verwendet würde; genau genommen iſt dieß nicht der Fall, ſondern, wenn Fig. 21 den Kreis vorſtellt, in welchem das in G aufgehängte Stäbchen ſich dreht, ſo muß die nach CA wirkende Kraft nach den Richtungen AL, AE zerlegt werden, und nur die erſtere kommt hier als Drehungskraft in Betrachtung. Bei den Verſuchen iſt wirklich ſo gerechnet worden, für meine Darſtellung mag jedoch jene nicht ganz ſtrenge Angabe genügen.

Um die anziehende Kraft, welche von einer electriſirten Kugel auf eine unelectriſirte ausgeübt wird, zu finden, muß man die bewegliche Kugel A durch einen im Glaſe PQ (XII. Fig. 15) vertical ausgeſpannten Seidenfaden hindern, ſich an C anzulegen, damit ſie nicht ſogleich mitgetheilte Electricität erhalte. Man giebt nun der Kugel C eine ſchwache Ladung, und da die Kugel A ſich dann gegen C zu drängt, durch jenen Faden aber aufgehalten wird, ſo hat man Zeit, durch Drehung der Klemme F die Kugel A zu zwingen, daß ſie ſich weiter von C entfernt. Ich will annehmen, man finde bei einem Verſuche, daß man, um A auf 40° zu entfernen, eine Drehung von 50° hervorbringen müſſe, das heißt, die Klemme ſo weit fortdrehen müſſe, daß die unelectriſirte Nadel AB auf 90° zur Ruhe käme, ſo wird man eine Drehungskraft von 200° finden für 20° Abſtand, oder im letzten Falle müßte man die Klemme ſo weit fortdrehen, daß die unelectriſirte Nadel bei 220° zur Ruhe käme. Iſt

[1] Den wir zwar eigentlich nach der Sehne meſſen ſollten.

nämlich (XII. Fig. 21) der Bogen CLR = 220° und die Klemme ſo geſtellt, daß in ER die Nadel zur Ruhe käme, ſo iſt für CE = 20° die Nadel durch die Anziehung in einer Lage erhalten, wobei der Drehungsbogen ELR = 200° iſt.

Könnten dieſe Verſuche zu einer Zeit angeſtellt werden, wo die Electricität gar keinen Verluſt in der Luft erlitte, ſo könnte man ohne alle Correction eine Reihe ſolcher Verſuche hinter einander anſtellen; da es aber nie vorkommt, daß nicht einige Verminderung der Electricität erfolgte, ſo muß man hierauf bei den nach einander folgenden Verſuchen Rückſicht nehmen.

Jene Geſetze finden bei der poſitiven und bei der negativen Electricität auf gleiche Art ſtatt und geben uns die Regeln, nach welchen wir die Austheilung der electriſchen Materie in den Körpern berechnen können.

Zweiundſechzigſte Vorleſung.

Electriſche Erſcheinungen durch Vertheilung.

Die abſtoßende Kraft, mit welcher jede der beiden electriſchen Materien auf ihre eignen Theilchen wirkt, ſo wie die anziehende Kraft, die jede auf die entgegengeſetzte ausübt, macht ſich ſchon da merklich, wo auch kein Uebergang der Electricität ſtatt findet. Die Erſcheinungen, die daraus hervorgehen, nennt man electriſche Erſcheinungen durch Vertheilung, weil ſie in einem leitenden Körper dadurch bewirkt werden, daß, ohne Hinzukommen neuer electriſcher Materie, die in demſelben vorhandene ſich ungleich austheilt und ſo am einen Ende die poſitive, am andern Ende die negative als wirkſam hervortritt.

Wenn man einem nicht allzu kurzen, iſolirten Leiter AB (XII. Fig. 22) in C eine geriebene Glasröhre nähert, ohne ſie ſo nahe zu bringen, daß durch ein Uebergehen der Electricität von der electriſirten Glasröhre auf den Leiter dieſer mitgetheilte Electricität erhalten könnte, ſo ſieht man dennoch die bei A und bei B angehängten Kugeln aus einander gehen und alſo Spuren einer in dem Leiter AB ſich zeigenden Electricität. Zieht man die Röhre C wieder in größere Ferne zurück, ohne den Leiter AB zu berühren, ſo hören jene Abſtoßungen auf und der Leiter AB iſt ohne merkbare Electricität, ſo wie er es vor dem Verſuche war. Aber nun nähere man dieſem unelectriſirten und iſolirten Leiter AB jene geriebene Glasröhre C abermals und berühre, während C nahe genug, jedoch ohne Funken geben zu können, gebracht iſt, den Leiter in ſeinem entfernteſten Punkte B nur einen Augenblick, ſo daß ſogleich die Iſolirung wieder hergeſtellt iſt, ſo wird, nachdem hierauf C abermals entfernt worden iſt, AB ſich in dauernd electriſchen Zuſtand verſetzt zeigen, und wenn man unterſucht, welche der beiden Electricitäten es iſt, welche die Kugeln a, b

ſowohl als c, d aus einander treibt, ſo findet man dieſe nach der Annäherung geriebenen Glaſes negativ, nämlich derjenigen Electricität entgegengeſetzt, die der Körper C beſaß. Wir wollen, um die Erſcheinung noch genauer kennen zu lernen, einen dritten Verſuch hinzufügen. Man ſtellt (XII. Fig. 23) zwei iſolirte Leiter AB, DE ſo auf, daß ſie, einander berührend, nur einen verbundenen Leiter AD darſtellen, deſſen einen Theil ED man aber, ohne ihn mit der Erde in leitende Verbindung zu ſetzen, von dem andern AB entfernen kann; man bringt nun abermals den poſitiv electriſchen Körper C in die Nähe des einen Endes A, während beide Leiter in Berührung ſind, entfernt, während C noch in ſeiner Stellung bleibt, den Leiter DE, ohne dabei einen der beiden Leiter mit der Erde in Verbindung zu ſetzen, und zieht nun erſt auch C zurück, ſo zeigen beide iſolirte Leiter ſich electriſirt, und zwar iſt der der Einwirkung des poſitiven C in der nächſten Stellung unterworfene AB negativ, der entferntere DE poſitiv, oder allgemein: AB hat die entgegengeſetzte, DE die gleichartige Electricität, welche C hatte. Will man noch einen vierten Verſuch hinzufügen, ſo bringe man, ehe irgend einer der beiden Leiter berührt worden iſt, AB, DE abermals in Berührung, ſo ſind ſie beide unelectriſirt, wie ſie es vor dem Verſuche waren, ihre entgegengeſetzten Electricitäten haben einander genau aufgehoben. Dieſe Erſcheinungen des electriſchen Einfluſſes, welchen der entfernte Körper C ausübt, erklären ſich ſehr leicht. Um kurz zu ſeyn, will ich bei dieſer Erklärung nur eine electriſche Materie erwähnen, indem ſich durch die Bemerkung, daß allemal mit dem Zurückſtoßen der einen ein Heranziehen der andern, mit dem Mangel an der einen ein Ueberfluß der andern verbunden iſt, die Erklärung in Beziehung auf zwei electriſche Materien ergänzen läßt. Die Erklärung iſt folgende.

Indem die poſitiv-electriſche Materie in C angehäuft iſt, wirkt dieſe abſtoßend auf die im ungeladenen Leiter ſelbſt im natürlichen Zuſtande enthaltene poſitive Materie und ſtößt ſie (XII. Fig. 22) von A nach B zurück, ſo daß A ſich im negativ-electriſchen Zuſtande, B im poſitiven Zuſtande befindet. Bleibt nun AB völlig iſolirt und zieht man C zurück, ohne irgend eine Ableitung an AB anzubringen; ſo kehrt die poſitiv-electriſche Materie von B nach A, die nach A angezogene negative Materie nach B zurück, ſo daß die bloß aus ungleicher Vertheilung in dem Leiter AB entſtandene electriſche Spannung völlig wieder aufhört und AB als unelectriſirt erſcheint. Dagegen wenn man während der Einwirkung des poſitiv-electriſchen Körpers C eine Ableitung an B (Fig. 22) anbringt und dadurch die Kugeln c, d zum ruhigen Herabhängen bringt, ſo iſt die bei B angehäufte poſitiv-electriſche Materie abgeleitet, alſo nun alle in AB enthaltene poſitiv-electriſche Materie, welche, der Abſtoßung von C her Folge leiſtend, über B hinaus fortgetrieben ward, ganz entfernt. Hebt man jetzt die Ableitung bei B auf und entfernt ſpäter erſt den Körper C, ſo findet ſich AB negativ-electriſch, weil dieſer Leiter ſeine poſitive Materie während der unter der Einwirkung von C ſtatt findenden Ableitung verloren, und — wie man der Vollſtändigkeit wegen hinzuſetzen muß — negativ-electriſche

Materie durch den Leiter bei B an ſich gezogen hat. Ebenſo leicht erklärt ſich der dritte Verſuch, daß nämlich (Fig. 23) DE, während des Einfluſſes von C entfernt, ſich poſitiv-electriſch zeigt und AB negativ-electriſch zurückbleibt; denn die poſitiv-electriſche Materie iſt nach D gedrängt und dadurch ein Mangel an derſelben in AB entſtanden, die negativ-electriſche Materie iſt nach AB gezogen und daher in DE vermindert worden, und dieſe ungleiche Austheilung kann ſich nicht wieder ausgleichen, weil man beide Leiter, als ſie noch unter dem Einfluſſe von C ſtanden, getrennt hat.

Die Erſcheinungen bleiben ganz ebenſo, wenn C ein negativ electriſirter Körper iſt, nur daß dann auch bei den Wirkungen da poſitive Electricität erſcheint, wo vorhin negative ſich zeigte, und da negative, wo vorhin poſitive war. Die Erklärungen bleiben ganz dieſelben, und ſelbſt nach der Franklin'ſchen Theorie laſſen ſich auch dann die Erſcheinungen gut erklären, weil der Mangel an electriſcher Materie in dem Körper C nothwendig ein Hinüberſtreben der in AB (XII. Fig. 22) enthaltenen, wenn gleich nur dem natürlichen Zuſtande entſprechenden, electriſchen Materie bewirken muß. Wäre nämlich C auch im natürlichen Zuſtande, ſo wirkte die in C ſo gut als die bei B befindliche auf A zurück und in A bleibe die electriſche Materie in Ruhe; dagegen wird ſie offenbar in A angehäuft, wenn von C her, wegen des dort eingetretenen Mangels, die Abſtoßung nicht mehr ſtatt findet.

Die vorigen Verſuche laſſen ſich mannigfaltig abändern; die folgende Anordnung derſelben ſcheint mir jedoch vorzüglich belehrend zu ſeyn. Man ſtelle wieder (Fig. 24) den iſolirten Leiter AB, der ſich im unelectriſirten Zuſtande befindet, auf und nähere die electriſirte Glasröhre C, die alſo poſitiv electriſch iſt; während ſie ihren Einfluß auf AB ausübt, berühre man mit einem Metallſcheibchen a, das an einem iſolirenden Stiele b gehalten wird, das dem Körper C zugekehrte Ende des Leiters AB und trage die auf dieſe Weiſe, ohne Berührung an C, in a erregte Electricität auf ein Electrometer über, ſo findet man dieſe negativ, weil C poſitiv war, alſo die poſitiv-electriſche Materie aus a nach AB verdrängt, die negativ-electriſche Materie dagegen herangezogen und in a angehäuft wurde. Iſt das Electrometer nicht fein genug, um ſchon kenntliche Zeichen von Electricität zu geben, wenn man die Metallplatte a einmal zu Ladung deſſelben anwendet, ſo kann man, durch mehrmalige Berührung in A und Uebertragung der erlangten Ladung auf das Electrometer, die Ladung des letzteren nach und nach verſtärken und ſo ſich überzeugen, daß dieſe Metallſcheibe, die ich ein Prüfungsſcheibchen nennen werde, unter dem Einfluſſe des poſitiven Körpers C in A negativ wurde. Hat man ſo mehrmals die in A auf das Prüfungsſcheibchen a übergegangene negative Electricität fortgeführt und entfernt nun C, ſo bleibt AB in poſitiv-electriſchem Zuſtande zurück. Fängt man den Verſuch von neuem mit einem im natürlichen Zuſtande ſich befindenden Leiter AB an, bringt ihn unter den Einfluß des poſitiv-electriſchen C und ladet jetzt das Electrometer durch ein wiederholt an dem entfernteſten Punkte B angebrachtes Prüfungsſcheibchen, ſo

iſt die Ladung des Electrometers poſitiv, nach der Entfernung von C aber bleibt AB negativ=electriſch zurück, und zwar deſto ſtärker negativ=electriſch, je öfter man die Berührung und Hinübertragung des Prüfungsſcheibchens wiederholt hat. Wiederholt man eben den Verſuch ſo, daß man das Prüfungs=ſcheibchen an E anbringt, ſo findet man eine geringere poſitive Electricität, und kann ſo den Punkt F ziemlich genau beſtimmen, wo der dem Einfluſſe von C ausgeſetzte Leiter gar keine Electricität zeigt, indem zwiſchen F und A negative Electricität hervortritt.

Dieſe Verſuche zeigen, daß ein unelectriſirter Körper, ſobald er in die Nähe eines electriſirten kömmt, nicht in ſeinem ganz gleichmäßigen, un=electriſchen Zuſtande bleibt, ſondern daß durch die ungleiche Austheilung der electriſchen Materie, die nun in ihm entſteht, das dem poſitiv geladenen Körper C zugewandte Ende negativ=electriſch wird. Iſt der poſitiv geladene Körper C ſelbſt ein Leiter, ſo muß vermöge dieſer Einwirkung die poſitive Ladung in der Gegend, welche dem Leiter AB am nächſten iſt, am meiſten hervortreten; denn ſo wie in A ſich die negativ=electriſche Materie ſammelt und dagegen die poſitiv=electriſche in die Ferne nach B getrieben wird, ſo muß die in C befindliche Ueberladung mit poſitiv=electriſcher Materie gegen A her=angezogen werden. Dieſes iſt der Zuſtand, welcher dem Ueberſchlagen des electriſchen Funkens vorangeht, und wir können daher nicht ſagen, der elec=triſche Funke eines mit poſitiver Electricität geladenen Körpers ſchlage auf einen völlig im natürlichen Zuſtande befindlichen Körper, ſondern er ſchlägt auf einen Theil dieſes Körpers, der wirklich negativ geworden iſt. Ganz ebenſo findet es ſtatt, wenn C eine negative Ladung hat. Ein leicht anzuſtellender Verſuch beſtätigt dieſe Behauptungen. Man ſtelle (XII. Fig. 25) dem Leiter DA einer Electriſirmaſchine eine iſolirte Metallkugel B und eine ebenſo große Metallkugel C, die aber eine Ableitung CE hat, in gleichen Entfernungen gegenüber, ſo werden, indem man die Maſchine dreht und DA ladet, die Funken auf C, nicht auf B ſchlagen. Die Kugel B nämlich wird allerdings, wenn DA poſitiv geladen iſt, an der Seite a negativ ſeyn, aber die poſitiv=electriſche Seite b iſt nur wenig weiter als die negative a von A entfernt, und der zum Funkenſchlagen erforderliche Gegenſatz tritt daher hier bei weitem nicht ſo hervor, wie an der Kugel C, die ihre poſitiv=electriſche Materie weit hin nach E zurück ſendet.

Auch einige kleinere Erſcheinungen finden hier ihre Erklärung. Man hat ſchon früh bemerkt, daß Papierſtückchen, die auf Glas liegen, nicht ganz ſo leicht als die, welche auf einer etwas größern Metallplatte liegen, gegen ge=riebenes Siegellack oder Glas fliegen, und man kann ſich davon überzeugen, wenn man Glas und Metall an einander grenzend mit leichten Körpern be=ſtreut und dann allen dieſen gleichmäßig eine geriebene Siegellackſtange nähert; die auf dem Metalle liegenden Körperchen werden dann zuerſt angezogen. Der negativ electriſirte Körper D (XII. Fig. 26) — denn da ich Siegellack genannt habe, ſo iſt er negativ — kann nämlich in dem auf Glas AB liegenden Körper a

die negative Electricität nur bis auf die Hinterſeite dieſes Körpers zurücktreiben, da das Glas keine Ableitung geſtattet; der Körper b dagegen kann in dem Metalle BC ſeine negativ=electriſche Materie bis nach C zurückſenden, und wird daher viel ſtärker angezogen.

Ebenſo leicht läßt ſich eine bei den erſten Verſuchen über Electricität oft vorkommende Sonderbarkeit erklären. Wenn man zwei an ſeidenen Fäden hängende Kugeln, deren eine d ſich hinter der andern e befindet (Fig. 27), der electriſirten Glasröhre nähert, ſo wird oft nur die hintere d abgeſtoßen, während die vordere e mit dem Glaſe in Berührung bleibt. Dieß geſchieht dann, wenn beide Kugeln den mit ihnen in Berührung kommenden Glastheilchen die Electricität geraubt haben; indem ſie nämlich in der Nähe eines poſitiv electriſirten Körpers bleiben, wird alle aufgenommene poſitiv=electriſche Materie der entferntern Kugel zu gedrängt und dieſe wird abgeſtoßen, die nähere aber oder wenigſtens ihre dem Glaſe zugekehrte Seite bleibt negativ; da das Glas von den etwas entlegneren Punkten her nur ſehr langſam Electricität zuführt, ſo dauert es oft lange, ehe auch ſie genug Electricität, um abgeſtoßen zu werden, aufgenommen hat, und dieſes tritt eher ein, wenn ſie, nach und nach zu andern Punkten des Glaſes überſpringend, ſich in verſchiedenen Punkten die zu ihrer Ladung nöthige Electricität ſammelt.

Vertheilung der Electricität bei zwei Körpern, die beide geladen ſind.

Wir nahmen vorhin an, der iſolirte Leiter AB (Fig. 28) ſey im natürlichen Zuſtande; wir wollen ihn jetzt als poſitiv geladen annehmen, während die poſitiv electriſirte Glasröhre ſich ihm nähert. So lange jener poſitiv geladene Leiter allein ſtand, gingen die an ſeinen Enden angebrachten Kugeln gleichmäßig mit poſitiver Ladung aus einander; ſobald aber C ſich, ſo wie die Figur zeigt, langſam nähert, ſinken die Kugeln a, b herab oder vermindern ihre Abſtoßung, während die Kugeln c, d weiter aus einander gehen; nähert C ſich noch mehr, ſo hängen a, b ohne alle Abſtoßung neben einander herab, und bei noch größerer Annäherung tritt eine neue Abſtoßung eben dieſer Kugeln ein, die nun zugleich auch gegen C angezogen werden; unterdeß haben die Kugeln c, d ihre Abſtoßung immer mehr verſtärkt. Auch dieſe Erſcheinungen erklären ſich leicht, indem offenbar die anfangs gegen beide Enden des Leiters AB gleichförmig ausgetheilte poſitive Electricität deſto mehr gegen B und c d hin getrieben wird, je näher die poſitive Glasröhre C heranrückt. Durch dieſes Zurückdrängen der poſitiv=electriſchen Materie von A und a, b weg kommt es dahin, daß a und b nur eben die Menge poſitiver Electricität wie die umgebende Luft enthalten, und dann hängen die Kugeln ohne Zeichen einer Ladung herab; ſie ſind auch wirklich im natürlichen Zuſtande, da aller Ueberfluß an poſitiv=electriſcher Materie nach B gedrängt und die noch übrige verminderte negative Materie nach A herangezogen, hier alſo der natürliche Zuſtand hergeſtellt, die angemeſſene Menge beider electriſchen Materien geſammelt iſt. Nähert ſich C noch mehr, ſo wird die poſitiv=electriſche Materie noch ſtärker

von A entfernt, die negativ-electriſche Materie zu A herangezogen, die Kugeln a, b ſind nun wirklich negativ und gehen mit negativer Electricität aus einander; daß ſie dann zugleich ſtark gegen C angezogen werden, verſteht ſich von ſelbſt.

Wenn man dieſe Erſcheinungen ſo beobachtet, wie ein langſames Heranrücken des Körpers C ſie ergiebt, ſo nimmt man deutlich das ſchwächere, durch poſitive Electricität hervorgehende Abſtoßen der Kugeln, das Aufhören deſſelben, das Uebergehen in ein neues Abſtoßen durch negative Electricität wahr; aber bei ſchneller Annäherung kann aus der zuletzt eintretenden Anziehung des Körpers C der Irrthum entſtehen, AB ſey negativ electriſch geweſen, weil allerdings zuletzt die Kugeln a, b in dieſen Zuſtand verſetzt werden, wenn die poſitive Ladung nicht ſtark genug war, um unter dem nahen Einfluſſe von C auch hier noch poſitiv zu bleiben.[1] Hätte man dagegen dem poſitiv geladenen Leiter AB (XII. Fig. 28) eine geriebene Siegellackſtange C, einen negativ electriſirten Körper, genähert, ſo würden (wie die dritte unter 28 ſtehende Figur zeigt) die nächſten Kugeln a, b weiter aus einander gehen, die entferntern c, d ſich minder abgeſtoßen zeigen; denn obgleich AB im Ganzen ſich noch immer im poſitiv-electriſchen Zuſtande befindet, ſo zieht ſich doch die poſitiv-electriſche Materie nun am meiſten nach A und läßt B ſchwächer poſitiv zurück.

Daß ein negativ electriſirter Leiter AB ganz ähnliche Erſcheinungen darbieten wird, verſteht ſich von ſelbſt. Sind es aber zwei Leiter AB, CD (Fig. 29), die beide gleichartig, z. B. negativ, electriſirt ſind, ſo drängt ſich die negativ-electriſche Materie vorzüglich nach den entferntern Enden, und da gehen folglich die Kugeln am ſtärkſten aus einander; ebenſo verhält es ſich bei poſitiver Ladung. Auf dieſer Einwirkung eines electriſirten Körpers auf einen andern beruht es auch, daß man an Electriſirmaſchinen mit Vortheil lange Leiter anbringt.[2] Käme es bloß auf die mit Electricität zu ladende Oberfläche an, ſo müßte eine große Kugel, von welcher die ſämmtliche Electricität in einem einzigen Funken überginge, eben die Dienſte thun; aber der ſtark mit poſitiver Electricität geladene Cylinder der Electriſirmaſchine giebt ſeine Electricität leichter an den Conductor ab, wenn die dieſem ſchon ertheilte Ladung in einen ziemlich weit entlegenen Theile des Conductors hinüber gedrängt werden kann, und ſo läßt ſich die Ladung auf einem langen cylindriſchen Conductor mehr als auf einem kurzen verſtärken. Man hat Leiter von ungewöhnlicher Länge mit großem Erfolge zur Verſtärkung des einfachen Conductorfunkens angewandt.

[1] Nähert man den Körper C auf die Weiſe, daß er oberhalb A gegen A und a, b heranrückt, ſo wird in a, b die entgegengeſetzte Electricität nicht hervortreten, weil von A aus ſich die poſitive Electricität auch nach a, b, nicht bloß nach B zu drängt. Hier können alſo noch immer die Kugeln a, b mit poſitiver Electricität aus einander gehen.

[2] Nur zur Ladung von Batterien ſind kurze Leiter, wegen des geringern Verluſtes von Electricität in der Luft, beſſer, da die Batterie die hervorgehende Electricität mit ſtarkem Zuge an ſich reißt.

Vertheilung der Electricität auf der Oberfläche eines einzigen Leiters.

Wir haben noch nie die Frage aufgeworfen, ob denn die electriſchen Materien im natürlichen ſowohl als im angehäuften Zuſtande die Körper ganz durchdringen, oder ob ſie ſich nur an der Oberfläche befinden; dieſe Frage läßt ſich hier wenigſtens in Beziehung auf den Zuſtand der geladenen Leiter beantworten. So lange die Körper ſich im natürlichen electriſchen Zuſtande befinden, erhellt kein Grund, warum die beiden electriſchen Materien ſich auf die Oberfläche der Körper begeben ſollten, indem ſie einander ſo anziehen, daß ſie als völlig gebunden, zugleich alſo als an dem Orte, wo ſie einmal ſind, ruhend angeſehen werden können. Sobald aber eine Ladung eintritt, das heißt, die eine electriſche Materie in vermehrtem Maaße vorhanden iſt, wirkt diejenige, welche durch die zu geringe Menge der andern nicht mehr gebunden wird, auf ihre eignen Theile abſtoßend, und da ſie, wie wir annehmen müſſen, in den Leitern keinen Widerſtand findet, ſo muß ſie ſich auf die Oberfläche begeben, und würde auch von dieſer ſich entfernen, wenn nicht die nichtleitende Luft ihr einen Widerſtand entgegen ſetzte, wodurch ſie gezwungen wird, in einer, vermuthlich ſehr dünnen, Schicht auf der Oberfläche zu bleiben. Dieſe theoretiſch begründete Vermuthung läßt ſich durch Verſuche, unter denen ich nur einen anführen will, beſtätigen. Wenn man einen länglich runden Leiter **AB** (XII. Fig. 30) beſitzt, zu welchem zwei dünne Blechhüllen **CDE**, **FGH** ſo gearbeitet ſind, daß ſie ihn von beiden Seiten beinahe ganz umfaſſen, ſo wird man dem iſolirten und geladenen Leiter **AB** alle ſeine Electricität rauben, wenn man jene Blechhülle, an den iſolirenden Handgriffen **DK**, **GL** gehalten, über ihn ſchiebt und ſie dann wieder wegnimmt. Die auf der Oberfläche von **AB** geſammelte Electricität geht alſo ganz auf dieſe Umhüllung über und läßt ſich mit ihr abheben. Eben dieſer Umſtand, daß bloß die Oberfläche mit der Ladung bedeckt iſt, erhellt aus andern Verſuchen, unter denen folgender einer der intereſſanteſten iſt. Wenn man einen metallenen Becher, in welchem eine metallene Kette liegt, iſolirt und nun electriſirt, ſo zeigt ein an dem Becher angebrachtes Electrometer bald einen hohen Grad von Electricität. Zieht man nun an einem iſolirenden Handgriffe die Kette allmälig heraus, ſo ſinkt das Electrometer, zum Zeichen, daß die electriſche Materie ſich jetzt erſt auf der aus dem Becher hervorgehenden Kette ausbreitet.

Was die Ausbreitung der Electricität auf der Oberfläche eines Körpers betrifft, ſo läßt ſich zuerſt leicht einſehen, daß die Austheilung der electriſchen Materie auf der Oberfläche einer Kugel, die iſolirt und keinem andern einwirkenden Körper nahe iſt, gleichförmig ſeyn muß, wenn die Kugel ein Leiter iſt. Wenn man mit dem Prüfungsſcheibchen verſchiedene Punkte der Oberfläche einer ſolchen Kugel berührt und die Stärke der dem Prüfungsſcheibchen mitgetheilten Electricität am Electrometer unterſucht, ſo findet ſich auch dieß beſtätigt. Ein andrer leicht erhellender Satz iſt, daß die Electricität ſich unter

zwei gleiche, ſich berührende Kugeln gleich austheilen wird. Man lade die eine iſolirt aufgeſtellte Kugel und berühre ſie mit der andern ebenſo iſolirt gehaltenen, entferne dann die eine ſo weit, daß keine merkliche gegenſeitige Einwirkung mehr ſtatt findet, ſo ergiebt die Unterſuchung mit dem Prüfungsſcheibchen gleiche Electricität in allen Punkten beider Oberflächen. Dieſe Gleichheit bemerkt man nicht bloß, wenn beide gleich große Kugeln in ihrer übrigen Beſchaffenheit gleich ſind, ſondern es ſcheint, wofern ſie nur aus guten Leitern beſtehen, ganz einerlei zu ſeyn, ob die eine hohl, die andre maſſiv, ob die eine von Metall, die andre von einem andern Körper iſt; es ſcheint daher, daß es keine verſchiedenen Capacitäten für die Electricität giebt.

Die gleichförmige Vertheilung der Electricität, die man auf Kugeln beobachtet, findet nicht mehr ſtatt bei Leitern, die eine andre Geſtalt haben. Die meiſten als Leiter an der Electriſirmaſchine und zu andern Zwecken iſolirt aufgeſtellten Leiter ſind Cylinder, die an den Enden halbkugelförmig abgerundet ſind, und wenn man dieſe mit dem Prüfungsſcheibchen unterſucht, ſo findet man nach jeder ihnen gegebnen Ladung die Electricität am Ende ſtärker als in der Mitte. Man verfährt dabei am beſten ſo, daß man zwei kleine Kupferſcheibchen von gleicher Größe mit Siegellackſtielen verſieht und mit beiden Händen gleichzeitig das eine bei L, das andre bei M (Fig. 31) in Berührung bringt; trägt man die ſo erhaltene Electricität von L nach einem, von M nach einem zweiten gleichen Electrometer hinüber, und wiederholt dieſes ſo lange, bis beide Electrometer hinreichend geladen ſind, ſo ſieht man allemal das vom Ende her ſeine Ladung empfangende Electrometer höher ſteigen, als das andre. Coulomb hat dieſe Verſuche genauer mit ſeiner Drehwaage angeſtellt und die Stärke der Electricität am Ende mehr als doppelt ſo ſtark als in der Mitte gefunden. Endigt ſich der Cylinder, ſo wie es bei N gezeigt iſt, in einen dünneren, am Ende halbkugelförmig abgerundeten Cylinder, ſo iſt bei N die Electricität noch ſtärker, als in M. Um die verſchiedene Stärke der Electricität dem Auge darzuſtellen, habe ich (in XII. Fig. 32) um den Leiter PQ eine punktirte Linie gezogen, deren Abſtand die verhältnißmäßig größere oder geringere Stärke der Electricität darſtellt; wir könnten uns die den Körper umgebende Schicht frei wirkender electriſcher Materie ungefähr ſo auf dem Körper ausgebreitet denken, aber wir müßten ſie dann als ſehr dünn, jedoch bei P reichlich zweimal ſo dick als bei A anſehen.

Aehnliche Verſuche hat Coulomb über die Austheilung der Electricität auf einer kreisförmigen Scheibe angeſtellt, und in Fig. 33 zeigt ebenfalls die punktirte Linie durch ihr Höherſteigen gegen die Ränder A, B an, wie viel ſtärker man dort die Electricität als in der Mitte findet.

Daß dieſe ungleiche Austheilung der Electricität auf einem Leiter nothwendig ſo ſtatt finden muß, läßt ſich, wenn man keine genauen Zahlenangaben fordert, leicht überſehen. Die in der Mitte A des Leiters AP (Fig. 32) geſammelte poſitiv-electriſche Materie, wenn er poſitiv geladen iſt, ſucht ſich nach allen Seiten auszubreiten, und da die Luft dieſes nicht geſtattet, ſo kann

ſie nur nach den Enden des Leiters hin gedrängt werden, wo demnach der Ueberfluß dieſer einen electriſchen Materie, die, nicht gebunden durch die andre, frei wirkend hervortritt, am merklichſten wird. Ebenſo iſt es gegen den Rand der Scheibe zu. Auf der Kugel dagegen iſt, wegen der überall gleichen Krümmung, kein Punkt der Oberfläche mehr als der andre fähig, eine ſtärkere Ladung als der benachbarte aufzunehmen. Poiſſon hat dieſen Gegenſtand theoretiſch unterſucht, und ſeine ſcharfſinnigen Betrachtungen verdienen um ſo mehr, daß ich einen Augenblick dabei verweile, da ſie doch zu einigen durch Erfahrungen beſtätigten Zahlenangaben geführt haben und die Grundlagen zu mehreren Beſtimmungen enthalten, die nur wegen der Schwierigkeiten der Rechnung noch nicht in genauen Zahlen haben entwickelt werden können.

Theoretiſche Unterſuchungen über das Gleichgewicht der Electricität an der Oberfläche der Leiter.

Wenn ein Leiter mehr Electricität der einen Art erhält, als ihm im natürlichen Zuſtande zukommt, ſo begiebt ſich dieſe auf die Oberfläche des Leiters, und dieß ſcheint ſo zu geſchehen, als ob der Leiter der Bewegung der electriſchen Materie gar keinen Widerſtand entgegenſetzte. So viel wir urtheilen können, bildet dieſe als Ladung hervortretende electriſche Materie eine ſehr dünne Schicht auf der Oberfläche, und es läßt ſich leicht einſehen, daß dieſe Schicht nicht allemal in allen Theilen der Oberfläche gleich dick ſeyn wird, ſondern diejenige Geſtalt annehmen muß, welche nöthig iſt, damit irgend ein Punkt im Innern nach allen Seiten gleich angezogen werde. Denn wenn im Innern des Körpers, wo ſich unzerſetzte Electricität (aus der Verbindung beider Materien) ruhend befindet, irgend ein Punkt A eine Anziehung für die poſitive, eine Abſtoßung für die negative Materie nach beſtimmter Richtung AB litte (XII. Fig. 34), ſo würde etwas mehr poſitive Electricität nach B zu gehen und etwas mehr negative zurück treten, und dieß würde ſtatt finden, bis die Anziehung gegen die eine und die Abſtoßung gegen die andre Materie für alle Punkte im Innern des Körpers nach allen Seiten gleich iſt. Sie haben ſchon in den frühern Vorleſungen geſehen, daß eine Kugelſchicht, die außen und innen von concentriſchen Kugelflächen begrenzt iſt, auf einen Punkt im Innern der umſchloſſenen Kugel gar keine Anziehung ausübt, wenn die Kraft der Anziehung dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional iſt (ſ. Seite 67), und folglich erfüllt eine ſolche Schicht poſitiv-electriſcher Materie, die eine Kugel concentriſch umgiebt, die Bedingungen des Gleichgewichtes. Die Rechnung zeigt, daß auch für ein Sphäroid (XII. Fig. 34) ebenſo gut das Gleichgewicht der Anziehungen auf alle im Innern liegenden Punkte ſtatt findet, wenn es mit einer Schicht, die gleichfalls ſphäroidiſch iſt und eben das Verhältniß der Axen hat, umgeben iſt. Die Figur ſtellt dieß dar, jedoch muß ich wiederholt erinnern, daß die hier gezeichnete Dicke der Schicht viel zu groß iſt, und daß dieſe eine geringere Dicke, als ſich in der Zeichnung füglich angeben läßt, hat. Dieſe Schicht übt nach innen weder Anziehung noch Abſtoßung aus; in

Beziehung auf Punkte, die außerhalb liegen, iſt dagegen die geſammte Anziehung gewiß gegen den Körper DB zu gerichtet, und in Leitern, die nicht allzu entfernt liegen, wird alſo die entgegengeſetzte electriſche Materie gegen dieſen Körper heran gezogen, die gleichartige zurückgetrieben, wodurch dann aber, wegen gegenſeitiger Wirkung, die Schicht DB eine andre Anordnung anzunehmen genöthigt wird.

Ehe ich dieſe Veränderungen betrachte, muß ich noch bei dem Drucke verweilen, den die Schicht nach außen, alſo gegen die umgebende Luft, ausübt. Offenbar wird die in der Säule BC angehäufte poſitiv-electriſche Materie von den in den nächſten Lufttheilchen vorhandenen Theilen negativ-electriſcher Materie angezogen, und ſtrebt dorthin überzugehen, was jedoch wegen der Natur der Nichtleiter, die keine Aenderung der Lage der electriſchen Materie geſtattet, zu keinem wirklichen Uebergehen Veranlaſſung giebt. Der Druck, mit welchem die electriſche Materie vermöge dieſes Beſtrebens die Luft zu durchdringen ſucht, iſt vierfach ſo groß, wo die Schicht doppelt ſo dick, neunfach ſo groß, wo die Schicht dreifach ſo dick iſt, und ſteht überhaupt im Verhältniß des Quadrates der Höhe der Schichten. Der Grund hievon iſt leicht einzuſehen. Es iſt nämlich die Kraft aller von L und M her abſtoßenden Theilchen die Urſache, warum die Schicht in B eine gewiſſe Dicke annimmt, und die Höhe der Schicht iſt der Größe der aus jenen geſammten abſtoßenden Kräften hervorgehenden Mittelkraft proportional; eine doppelt ſo dicke Schicht verräth uns alſo die Wirkung einer in B doppelt ſo mächtigen Kraft jedes einzelnen Theilchens, und da zugleich eine doppelt ſo hohe Säule zweimal ſo viel drückende Theilchen enthält, ſo übt BC den vierfachen Druck auf die umgebende Luft aus, wenn ſie doppelt ſo dick iſt. — Dieß gilt genau nur bei ſehr dünnen Schichten, die aber auch hier nur vorkommen.

Es erhellt daher, daß ein Sphäroid K H (XII. Fig. 35), das zehnmal ſo lang als dick iſt, eine zehnmal ſo hohe Schicht electriſcher Materie bei H als bei L haben müßte, und daß der Druck auf die Luft bei H hundertmal ſo groß als bei L ſeyn würde. Da nun, ſagt Poiſſon, die Luft wie ein Gefäß anzuſehen iſt, worin ſich die electriſche Materie eingeſchloſſen befindet, ſo kann in H der Druck ſo groß werden, daß das Gefäß durchbrochen wird; und dann würde ein Funke übergehen, wenn ein andrer Körper ſich in der Nähe befände, oder die Electricität würde in die Luft ſtrömend übergehen, wie es bei Spitzen geſchieht, wenn kein andrer Körper in der Nähe iſt.

Auf ähnliche Weiſe muß man die Austheilung der electriſchen Ladung auch bei andern Formen der Leiter beurtheilen, ſo lange einer allein, entfernt genug von allen andern Körpern, daſteht; aber auch in dem Falle, wo zwei Körper auf einander einwirken, läßt ſich manche allgemeine Beſtimmung und manche beſondre, auf einzelne Umſtände paſſende, angeben. Zuerſt iſt der Satz leicht zu überſehen, daß, wenn zwei Kugeln oder andre durch krumme Flächen begrenzte Körper ſich in A (XII. Fig. 36) berühren, der Ladung ungeachtet, in A gar keine electriſche Materie als Ladung vorhanden iſt, das

heißt, keine, die nicht durch Verbindung mit der entgegengeſetzten in einem völlig neutralen Zuſtande erhalten würde. Es iſt intereſſant, daß dieſes aus den mathematiſchen Formeln folgt, aber es erhellt auch von ſelbſt, weil A hier als im Innern liegend erſcheint, alſo die Ladung ſich ebenſo gut von hier wegdrängt, wie aus dem Innern eines aus einem Stücke beſtehenden Leiters. Ebenſo leicht erhellt, daß in der Nähe von A nur ſehr ſchwache Spuren von Electricität ſeyn können, weil die in D, E einander ſehr nahe liegenden Theilchen electriſcher Materie ſich einander abſtoßen und gegenſeitig mehr gegen B, C zu drängen. Poiſſon's Rechnung ſtimmt mit Coulomb's Verſuchen überein, welche zeigen, daß ſich die angehäufte electriſche Materie in einer Schicht, deren Dicke nach den Verhältniſſen beſtimmt iſt, welche die Figur zeigt, um beide Kugeln ordnet. Sind die Kugeln ungleich, ſo iſt auf der kleinern Kugel bei C (Fig. 37) mehr Electricität angehäuft, als auf der größern bei D. Die Urſache läßt ſich wenigſtens einigermaßen einſehen, weil auch hier wie bei dem Sphäroid (Fig. 35) dem ſtärker gekrümmten Theile eine höhere Schicht zu Erhaltung des Gleichgewichtes zugehört, weil auf den gerade in der Mitte liegenden Punkt F offenbar eine größere Fläche D H von der einen Seite, als C I von der andern Seite unter gleich vortheilhaftem Winkel wirkt, aber von H, I bis zum Berührungspunkte nur wenig Electricität ſich findet. Die Größe der Ladung auf der kleinern Kugel zeigt ſich auch, wenn man beide Kugeln nach der Berührung von einander trennt und weit von einander entfernt, ſtärker, indem da, wenn ſie weit genug von einander entfernt ſind, jeder Punkt der kleinen Kugel, mit dem Prüfungsſcheibchen unterſucht, ſtärkere Electricität als jeder Punkt der größern zeigt. Man irrt ſich daher ſehr, wenn man glaubt, bei der Mittheilung der Electricität von einem geladenen Leiter an einen zweiten theile ſich die Electricität nach Verhältniß der Oberfläche aus; dieſes iſt gar nicht der Fall, ſondern eine kleinere Kugel erhält einen größern Antheil als dem Verhältniſſe der Oberflächen entſpricht, und jede Verſchiedenheit der Figur giebt ein andres Verhältniß der Austheilung.

Wenn die kleine Kugel, ehe ſie electriſirt iſt, bloß im Beſitze ihrer natürlichen Electricität, der größern Kugel genähert wird, ſo tritt wegen des Einfluſſes der geladenen größern Kugel eine ungleiche Austheilung der Electricität auf beiden Kugeln ein. Iſt die größere Kugel (Fig. 38) poſitiv geladen, ſo wird die electriſche Materie der kleinen Kugel A B zerſetzt, die poſitive geht bei größerer Annäherung immer mehr auf die entfernte Hälfte A, die negative auf die nähere Hälfte B über, und ziemlich genau in der Mitte liegt die Grenze der einen und der andern Electricität. Da aber nun die negative Materie in B ſtärker ziehend als die entferntere poſitive Materie in A abſtoßend auf die poſitive electriſche Materie in C D wirkt, ſo zieht ſich die poſitive Ladung mehr auf die Seite C. Die ganze Schicht von electriſcher Materie auf C D muß ſich nun anders ordnen, und es tritt bei unverändert bleibender Lage der iſolirt erhaltenen Kugeln nicht eher wieder Ruhe der

electriſchen Materien ein, bis die Anziehung und Abſtoßung auf irgend einen Punkt im Innern wieder Null iſt. Wenn die Entfernung beider Kugeln geringer wird, ſo iſt immer ſteigend mehr negative Electricität auf der Hälfte B und die zugehörige poſitive auf A angehäuft; dagegen häuft ſich die auf CD als Ladung vorhandene poſitiv-electriſche Materie in C an, je bedeutender das Verhältniß der Anziehung der näheren negativen Halbkugel B gegen die Abſtoßung der entfernteren poſitiven A wird. Endlich geht dann die Ladung von C D auf A B über, und bei der Berührung erhalten beide Kugeln jede einen angemeſſenen Antheil der Ladung. Wenn man ſie dann langſam und immer iſolirt von einander entfernt, ſo tritt an den nächſten Punkten B, C (wo während der Berührung keine electriſche Materie blieb) die poſitive Electricität bei der größern, die negative bei der kleinern hervor, die geſammte abſtoßende Kraft der auf B wirkenden poſitiven Electricität in C D iſt nämlich vielmal größer als die auf A wirkende, ſo lange die Entfernung klein iſt, und deshalb wird ſo ſehr alle + E nach A gedrängt, daß in B ein — E hervorgeht; bei größerer Entfernung nähern ſich die auf A und B wirkenden Kräfte der Gleichheit und die + E kehrt nach B zurück, bis ſie endlich in ſehr großen Entfernungen ſich ganz gleich auf A B austheilt.

Wegen dieſer ganz ungleichen Austheilung der Electricität auf Leitern iſt es höchſt ſchwierig, theoretiſch zu beſtimmen, wie fern die Grade unſrer gewöhnlichen Electrometer mit wahren Graden electriſcher Ladungen vergleichbar ſind. Es ſind nämlich nicht die Endpunkte L, M (XIII. Fig. 1) allein, die ſich abſtoßen, ſondern l, m und alle andere Punkte ſind gleichfalls geladen, und da jeder Punkt einen andern Antheil der Ladung hat und jeder Punkt bei Veränderung der Lage des einen Theiles M m einen andern Antheil der Ladung empfängt, ſo würde eine ſehr genaue theoretiſche Unterſuchung, die für jetzt noch unausführbar iſt, der Beſtimmung wahrer Electrometergrade vorausgehen müſſen. Will man alſo eine ſolche Beſtimmung, die jedoch wegen des ungleichen Verluſtes von Electricität in der Luft allemal etwas unſicher bleibt, verſuchen, ſo müßte es experimentirend geſchehen. Wenn eine Kugel geladen iſt und auf ihr das Electrometer ſich bis zu beſtimmten Graden hebt, ſo kann man die genaue halbe Ladung beobachten, wenn man jene Kugel mit einer ganz gleichen ungeladenen in Berührung bringt und ſie dann trennt, das genaue Viertel der Ladung, wenn man dieſen Verſuch wiederholt u. ſ. w.

Wirkung der Spitzen.

Die Spitzen haben, wie ich ſchon oft erwähnt habe, die Eigenſchaft, die Electricität in die Luft zu zerſtreuen, und deshalb darf ein Leiter ſich nirgends in Spitzen oder auch nur mit ſcharfen Kanten endigen. Dieſe Eigenſchaft wird jetzt vollkommen erklärlich. Drängt nämlich auf Leitern die als Ladung ihnen mitgetheilte Electricität ſich deſto mehr nach dem Ende hin, je ſchmaler dieſes iſt, und wird ſchon auf dem Sphäroide, deſſen Axe zehnmal ſo lang iſt

als der Durchmeſſer des größten runden Querſchnittes, am Ende der Axe die Schicht der Electricität zehnmal und der Druck gegen die Luft hundertmal ſo ſtark als an der Oberfläche jenes runden Querſchnittes, ſo iſt es leicht zu überſehen, daß bei ſehr ſpitzig endigenden Leitern der Druck gegen die Luft zu groß werden und den Widerſtand der Luft überwinden muß. In dieſem Falle ſtrömt die Electricität aus und es iſt keine bedeutende Ladung mehr möglich. Man fühlt einen von der Spitze ausgehenden Wind, wenn man ihr die Hand gegenüber hält, und im Dunkeln zeigt ſich ein Leuchten an der Spitze. Bei ſtärkern Ladungen des Leiters zeigen ſich eben dieſe Erſcheinungen nicht bloß an Spitzen, ſondern ſchon an kleinen, und bei ſehr ſtarken Ladungen auch an größern Kugeln. Hiebei bemerkt man nun eine merkwürdige Verſchiedenheit, je nachdem die Ladung poſitiv oder negativ iſt, indem die Spitze an dem poſitiv geladenen Leiter einen nach allen Seiten ſich ausbreitenden Lichtbüſchel, eine Menge divergirender Lichtſtrahlen hervorbringt, dagegen eine Spitze an dem negativen Leiter nur einen glänzenden Punkt darſtellt, der jedoch bei ſehr ſtarken Ladungen auch ſchwache, nach allen Seiten gehende Strahlen zeigen ſoll. Dieſe Verſchiedenheit iſt eines der characteriſtiſchen Merkmale beider Electricitäten, die man auch als Beweis für die Franklin'ſche Theorie gebraucht hat, indem man das deutliche Ausſtrömen der poſitiv=electriſchen Materie als das wahre Ausſtrömen der angehäuften Electricität anſah, den glänzenden Punkt an negativen Spitzen aber dem Einſtrömen der Electricität in den ſeiner electriſchen Materie beraubten Leiter zuſchrieb; warum aber die aus der Luft gegen die Spitze zuſtrömende electriſche Materie nicht ebenſo gut ſchon in einiger Entfernung von dem Endpunkte der Spitze leuchtend wird, als ſie beim Ausſtrömen leuchtend bleibt, ſcheint doch nicht zu erhellen, und der Beweis, den man hierin gefunden hat, um die Glaselectricität als wahrhaft poſitive Electricität nachzuweiſen, iſt unzulänglich. Nimmt man zwei electriſche Materien an, die beide gleich gut ausſtrömen, ſo muß man jene Ungleichheit wohl auf ein verſchiedenartiges Verhalten beim Ausſtrömen beziehen.

Aber nicht bloß eine Spitze am Leiter ſelbſt angebracht entladet dieſen, ſondern auch eine Spitze, die in mäßiger Entfernung gegen den iſolirten Leiter gerichtet wird und ſelbſt eine Ableitung hat. Iſt nämlich AB (XIII. Fig. 2) poſitiv geladen, und der Leiter DCE wird jenem Leiter genähert, ſo ſtrömt die negativ=electriſche Materie der Spitze D zu, ſtrömt hier aus und gegen den poſitiven Leiter hinüber, und daß dann ihre ſtarke Anziehung die poſitive Materie aus der Luft und auch aus AB ſelbſt hinüberführt, ſcheint ſich ganz wohl begreifen zu laſſen. Wenn man dem aus einem poſitiv geladenen Leiter ausſtrahlenden Lichtbüſchel, der bei ſtarken Ladungen ſelbſt aus einer Kugel von 2 bis 4 Zoll Durchmeſſer hervorbricht, einen Leiter von der Seite nähert, ſo wenden ſich die Strahlen dieſes Lichtbüſchels gegen den Leiter zu. Eben das geſchieht, wenn man geriebnes Siegellack dem Lichtbüſchel nahe bringt, dagegen werden dieſe Strahlen abgelenkt durch eine genäherte geriebene Glas=röhre. Die materiellen Theilchen alſo, die ſich uns hier leuchtend zeigen,

folgen den Geſetzen der Anziehung und Abſtoßung, die wir an der poſitiv-electriſchen Materie wahrnehmen.

Der Grund, warum ſich da, wo die negativ-electriſche Materie in die Luft ausſtrömt, nicht ein eben ſolches Ausbreiten in Strahlen zeigt, und warum, da doch offenbar auch hier die poſitive Materie gegen die Spitze zu ſtrömen muß, dieſe ſich nicht kenntlich darſtellt, ſcheint mir auch nach der dualiſtiſchen Theorie nicht deutlich zu erhellen. Wir müſſen uns alſo wohl begnügen, bloß die Erfahrung auszuſprechen, daß nur die im Uebermaaß angehäufte poſitiv-electriſche Materie uns in dem Lichte des Ausſtrömens kenntlich wird und daß vermuthlich die Bewegungsgeſetze beider electriſchen Materien weſentlich verſchieden ſeyn müſſen. Ob man hinzuſetzen darf, die eine zeige uns in der Luft mehr ein dem Strömen ähnliches Hervorgehen, die andre möge wohl in geſchloſſenen Kreiſen oder wellenartig ſich ausbreiten, wage ich nicht zu behaupten.

Der electriſche Wind, der aus den Spitzen hervorgeht, iſt bei beiden Electricitäten nicht weſentlich verſchieden, und obgleich man auch darin Verſchiedenheiten hat finden wollen, die dem wahrhaften Ausſtrömen der poſitiven Electricität entſprächen, ſo iſt doch der Erfolg, wenn man ihn genau beobachtet, durchaus nicht ſo deutlich. Dieſer electriſche Wind, das Abſtoßen der zunächſt liegenden Lufttheilchen, iſt auch die Urſache der Bewegung des Flugrädchens mit Spitzen. Stellt man nämlich ein wie ABCD (XIII. Fig. 3) geformtes, in Spitzen, die alle nach einer Seite von den Radien abwärts gehen, ſich endigendes Rädchen aus Metallblech auf dem Leiter einer Electriſirmaſchine in E unterſtützt ſo auf, daß es ſich leicht um dieſen Mittelpunkt dreht, ſo fängt es, ſobald man den Leiter ladet, an, ſich ſehr ſchnell nach der Richtung ABCD zu drehen. An jeder Spitze nämlich, z. B. A, wird die Luft von der Spitze A ab gegen F geſtoßen, und offenbar erleidet daher A ſelbſt die entgegengeſetzte Wirkung, wodurch dann das Rädchen von A nach B umzulaufen anfängt. Der Erfolg iſt einerlei, der Leiter mag poſitiv oder negativ geladen ſeyn.

Lichtenbergiſche Figuren.

Es giebt noch eine andre Erſcheinung, die auf ähnliche Weiſe auf eine Ungleichheit im Ausſtrömen der poſitiven und der negativen Electricität hindeutet. Lichtenberg, der ſich ums Jahr 1777 viel mit electriſchen Verſuchen beſchäftigte, bemerkte, daß der Staub auf glatten Harzplatten oft in auffallenden Figuren geordnet war, und nach einigen Verſuchen, den wahren Urſprung dieſer Figuren zu finden, entdeckte er das Mittel, ſie nach Willkür hervorzubringen. Hat man einen dünnen Harzguß mit glatter Oberfläche und läßt auf einen Punkt dieſer Oberfläche einen electriſchen Funken ſchlagen, bepudert aber alsdann die Fläche mit feinem Schwefel oder semen lycopodii, ſo legt dieſer Staub ſich nicht gleichförmig auf die Fläche, ſondern er bildet Figuren, die weſentlich verſchieden ſind, je nachdem der Funke ein poſitiver oder negativer war.

Der poſitive Funke giebt eine in divergirenden, jedoch nicht ganz geraden Strahlen ſich ausbreitende Figur, in welcher die Hauptſtrahlen ſich gewöhnlich wieder in feinere zertheilen (XIII. Fig. 4). Der negative Funke dagegen giebt eine Figur, die mehr oder minder deutlich aus concentriſchen Kreiſen beſteht; iſt ſie auch nicht ganz von ſtrahlenden Ausſtrömungen frei, ſo ſind dieſe doch unbedeutend, und ihr characteriſtiſches Anſehen beſteht darin, daß die mit Staub ſich belegenden Flächen kreisförmig ſind. Gelingt es, nur einen einzigen negativen Funken auf die Harzplatte zu bringen, ſo erhält man einen genauen Kreis, der ſich mit Staub bedeckt hat, in deſſen Mitte der Staub ſich nicht ſo ſtark aufgelegt hat und der um die Mitte ein feines Geäder (wie Fig. 5) zeigt.[1] Bringt man genau auf denſelben Punkt einen Funken und nach einigen Augenblicken einen zweiten, ſo ſtellt die bepuderte Figur ſich wie Fig. 6 dar, und bei mehrern deutlich abgeſetzt hinter einander folgenden Funken zeigt ſich immer mehr das Beſtreben, concentriſche Kreiſe zu bilden. Gewöhnlich gehen neben der Stelle, wo der Hauptfunke aufſchlug, noch mehr Kreiſe, wie Fig. 7, oft ſehr zahlreich hervor, ohne Zweifel weil kleine Funken ſeitwärts hin gefallen ſind.[2]

Das Entſtehen dieſer Figuren beruht offenbar darauf, daß die electriſche Materie, wenn ſie auf einen Punkt der ſchlecht leitenden Harztafel fällt, ſich doch, des Uebermaaßes wegen, den benachbarten Punkten mittheilt, und bei dieſer Mittheilung in dem einen Falle nach andern Bewegungsgeſetzen fortſchreitet, als im andern Falle. Die electriſirten Stellen aber ziehen den Staub an und bedecken ſich mit demſelben.

Wenn man den Staub aufpudert, ehe der Funke mitgetheilt wird, ſo wird er bei dem Uebergange des Funkens von den electriſirten Stellen abgeworfen; die poſitive Figur entſteht dann als von Staube entblößt in ähnlichen

[1] Dieſes Geäder iſt indeß ſchon ein Zeichen, daß nach dem Ueberſchlagen des negativen Funkens etwas poſitive Electricität übergegangen iſt.

[2] Die negativen Figuren fallen am ſchönſten aus, wenn man eine ziemlich große electriſche Flaſche inwendig negativ ladet und ſie dann auf eine iſolirende Unterlage A geſtellt (Fig. 8) auf folgende Art anwendet. Man ſetzt den einen Knopf E des gewöhnlichen Ausladers ruhend auf die Harztafel CD und berührt mit dem andern Knopfe F langſam angenähert nur einen Augenblick die Kugel B, während die Hand den Glasſtiel G faßt, alſo keine Leitung darbietet; dann erhält man, wenn die Flaſche nicht allzuſtark geladen iſt, nur e i n e n deutlich hervorgehenden Funken und kann durch eine zweite und dritte Berührung auf denſelben Punkt E mehrere, völlig getrennt wirkende Funken bringen. Hält man dagegen die Flaſche in der Hand und bringt die Kugel B der Harztafel nahe, ſo erſtreckt die Wirkung der negativen Electricität ſich in unregelmäßigen, jedoch immer rundlichen Flecken zu weit nach allen Seiten. Eben das iſt der Fall, wenn man die Tafel der Kugel eines negativ geladenen Conductors nähert, wo man große, aber nicht ſo ſchöne negative Figuren erhält. Wenn man für die negativen Figuren ſo, wie vorhin angegeben iſt, verfährt, und den Auslader abhebt, ohne ihn zu berühren, ſo bleiben die Kreiſe ohne Geäder und ohne die von der Mitte ausgehenden Strahlen; berührt man ihn dagegen oder ſetzt man ihn, nachdem er abgehoben und entladen iſt, wieder auf, ſo geht poſitive Electricität über, die ſich durch jene Strahlen kenntlich macht. Man ſieht alſo, daß auch auf der negativ electriſirten Fläche die poſitive Electricität eben die Bewegungsgeſetze befolgt, wie in andern Fällen. Auch für die poſitiven Figuren iſt die zuerſt angegebene Methode die paſſendſte, doch erhält man dieſe auch auf andre Art eher in ihrer vollkommenen Form. Die negative Electricität ſcheint viel leichter ſich in mehrere Funken zu zertheilen als die poſitive.

Veräſtelungen, wie im andern Falle; die negative bietet einen beinahe ganz von Staub befreiten Kreis dar, in deſſen Mitte ſich indeß noch ein ganz feines Wölkchen von Staub erhalten hat, oder ſehr oft auch mehrere runde Flecke.

Wenn man ſtatt der Schwefelblumen oder des semen lycopodii eine Miſchung von ungefähr gleich viel Mennig und Schwefel in ein ſeidenes Läppchen thut und dieſe Miſchung durch die Seide durchpudert, ſo legt ſich der farbige Staub nicht gleichmäßig auf die poſitiven und negativen Figuren, ſondern wenn der Funke auf die Harztafel gebracht iſt und man mit dieſer Miſchung bepudert, ſo erſcheinen die geäſtelten poſitiven Figuren von ausgeſondertem Schwefel weiß und der Mennig liegt in der Ferne zerſtreut, dagegen erſcheinen die runden negativen Figuren roth, indem hier der Schwefel unregelmäßig zerſtreut fortgetrieben wird. Hier ſcheint alſo der Schwefel mehr von den poſitiv electriſirten Stellen angezogen zu werden, der Mennig mehr von den negativen. Andre Miſchungen zeigen ähnliche Verſchiedenheiten.

Dreiundſechzigſte Vorleſung.

Erfindung der electriſchen Flaſche.

Früher als man von den Erſcheinungen etwas wußte, mit denen ich Sie neulich unterhalten habe und die zuerſt Canton 1753, darauf Wilke und Aepinus kennen lehrten, trat unerwartet und im höchſten Grade überraſchend eine electriſche Erſcheinung hervor, die zum erſten Male die Electricität als eine Kraft, deren Wirkung Schrecken erregen könne, kennen lehrte. Im Jahre 1745 bemerkte zuerſt von Kleiſt zu Cammin in Pommern, daß man einen ungewöhnlich ſtarken electriſchen Schlag erhalte, wenn man ein mit Waſſer nicht ganz gefülltes Glas, aus welchem ein eiſerner Nagel in das Waſſer geſetzt hervorragt, in der Hand hält, das Waſſer nebſt dem Nagel electriſirt, und endlich mit der andern Hand den Nagel berührt. Einen ganz ähnlichen Verſuch ſtellte Cunäus in Leiden etwas ſpäter an. Er hoffte, ein rundum von Glas umgebenes Waſſer, dem man durch einen Leiter die Electricität zuführe, werde dieſe nicht ſo leicht verlieren; da es ſich nun einmal zufällig traf, daß er bei dem Electriſiren das Glas in der Hand hielt und dann mit der andern Hand den Draht, durch welchen dem Waſſer die Electricität zugeführt worden war, berührte, ſo erhielt er einen heftigen Schlag, den er von der Ladung einer ſo geringen Waſſermenge gar nicht erwartet hatte. Dieſer Verſuch erhielt den Namen des Leidener Verſuches, die Flaſche aber ward die Leidener oder Kleiſtiſche Flaſche genannt; ich werde ſie die electriſche Flaſche oder die Verſtärkungsflaſche nennen.

Metallplatten unter gegenſeitigem Einfluſſe geladen.

Allerdings lag in dieſem Verſuche etwas ganz Unerwartetes. Wird die Flaſche auf den Tiſch geſetzt und das Waſſer electriſirt, ſo kann man ſie aufheben und entladen, ohne einen erheblichen Schlag zu bekommen; — kurz, es erhellt beim erſten Anblicke gar nicht, von welchen Umſtänden dieſe Ladung, deren Wirkung ſo empfindlich iſt, abhängt. Eine genauere Bekanntſchaft mit den Erſcheinungen, die durch Vertheilung der Electricität hervorgehen, hat erſt nach und nach zur richtigen Beurtheilung dieſer Erfolge geführt, zu welcher wir am beſten durch folgende Verſuche gelangen. Es ſey (XIII. Fig. 9) A B eine vertical aufgeſtellte Glasplatte, an deren beiden Seiten gleich große, dicht an ſie anſchließende, glatte Metallplatten CD, EF aufgeſtellt werden. Dieſe Metallplatten müſſen auf recht gut iſolirenden Glasfüßen befeſtigt ſeyn und ſelbſt durchaus keine ſcharfen Ecken darbieten, um ſo wenig als möglich Electricität durch Ausſtrömen zu verlieren; ſie müſſen auch etwas kleiner als die Glasplatte ſeyn, damit rund um ſie ein hinreichend breiter Rand der Glasplatte ein Ueberſchlagen von Funken um das Glas weg von C nach E hindre, und man kann ſie nun entweder recht nahe an die Glasplatte bringen oder ein wenig von derſelben entfernt laſſen. Man bringt nun den Conductor L einer Electriſirmaſchine ſo an CD, daß die Funken von demſelben auf CD überſchlagen und CD ebenſo wie der Conductor poſitiv geladen wird; man bemerkt hierbei, daß, nachdem ein Funke oder einige Funken übergegangen ſind, das Funkenſchlagen unbedeutend wird, zum Zeichen, daß CD ebenſo ſtark, als jener Leiter ſelbſt geladen iſt; aber mit Verwunderung bemerkt man, daß auch die Platte EF, wenn man ſie nahe an die Glasplatte ſetzt und dann berührt, Funken giebt, und daß neue Funken vom Conductor auf CD ſchlagen, wenn man unterdeß aus EF Funken zieht. Daß dieſe aus EF hervorgehenden Funken nicht einer durch Mittheilung von CD dorthin gelangten Electricität ihren Urſprung verdanken, verſteht ſich von ſelbſt, da das Glas weit ſicherer als die Luft allen Uebergang den Funken hindert; EF muß ſich alſo ohne Zweifel durch Vertheilung electriſch zeigen. Die poſitiv-electriſche Materie in CD treibt, mit ihrer abſtoßenden und anziehenden Kraft durch das Glas hindurch wirkend, die poſitiv-electriſche Materie in EF auf die äußere Seite und zieht die negativ-electriſche Materie auf die dem Glaſe zugekehrte Seite; bietet man der Platte EF einen Leiter dar, der mit der Erde in Verbindung ſteht, ſo geht die zurückgetriebene poſitiv-electriſche Materie auf dieſen über, und EF bleibt alſo negativ geladen zurück. Aber dieſe negative Ladung wird ſo gegen die Glasplatte oder eigentlich gegen CD zu angezogen, daß ſie, ſelbſt wenn man EF dauernd mit der Erde verbindet, kein Beſtreben hat, zu dieſer abzufließen, ſondern ſie wird durch die in CD enthaltene poſitiv-electriſche Materie ebenſo gebunden gehalten, wie es im natürlichen Zuſtande der Körper mit den ſich gegenſeitig bindenden beiden Electricitäten der Fall iſt. Aber genau ſo wirkt nun auch die negative Electricität in EF auf die poſitive in

CD zurück; jene zieht dieſe ſo nahe als möglich an das Glas heran und geſtattet ihr nicht, gegen den Conductor L ſo zurückzuwirken, wie es außerdem der Fall ſeyn würde. Ehe man der poſitiv-electriſchen Materie einen Ausfluß von EF geſtattete, war zwar auch die negative Materie nahe an die Glasplatte gezogen und die poſitive nahm die von CD abgekehrte Seite ein; aber dieſe geringe Ungleichheit des Abſtandes konnte nur eine geringe Anziehung auf die poſitive Ladung in CD hervorbringen, da die Abſtoßung der noch immer ſehr nahe liegenden poſitiven Electricität beinahe ganz das vernichtete, was die Anziehung der negativen bewirkte; ſo lange alſo fand, mit geringem Unterſchiede, beinahe noch der gewöhnliche Ladungszuſtand in CD ſtatt, das heißt, die poſitive Electricität in CD hinderte mit ihrem Streben nach allen Seiten den Zutritt neuer Electricität vom Conductor L her, ungefähr ſo, wie comprimirte Luft in CD den Zutritt gleich ſtark comprimirter Luft von L her hindern würde. Dagegen, wenn die comprimirte Luft in CD durch eine fremde anziehende Kraft an der Fläche des Glaſes gebunden würde, ſo würde noch immer neue Luft von L her zudringen, weil die elaſtiſche Kraft der Luft in CD nicht mehr ſtark genug zurückzudrängen im Stande wäre. Wenn gleich dieſe Vergleichung in vielem Betrachte unvollkommen ſeyn mag, ſo wage ich doch zu ſagen, auf ganz ähnliche Weiſe geſtattet die poſitive Electricität in CD einen vermehrten Zutritt electriſcher Materie, weil die an der Glasplatte feſt gehaltene außer Stande iſt, den Zutritt neuer poſitiver Electricität zu hindern. Je mehr dieſe poſitive Ladung zunimmt, deſto mehr nimmt das Heranziehen neuer negativ-electriſcher Materie in EF und das Zurücktreten der poſitiv-electriſchen Materie aus EF zu, daher denn bei neuer oder fortwährender Berührung der Platte EF die negative Ladung dieſer ſich immer vermehren, dadurch aber auch die Fähigkeit der CD, eine ſtärkere poſitive Ladung aufzunehmen, immer ſteigen wird.

Während ſo CD, EF unter dem gegenſeitigen Einfluſſe ſtehen, bemerkt man ihre ſtarke Ladung wenig, wenn man jede einzeln berührt, weil, wie ich ſchon geſagt habe, die gegenſeitig gegen die Glasplatte drängenden Electricitäten ſich gegenſeitig feſſeln und an der negativen Platte gar kein Drang nach außen merkbar iſt, an der poſitiven aber nur höchſtens ſo viel Drang nach außen, als der Conductor L gleichfalls beſitzt. [1]

Aber nun wollen wir die Platte EF, ohne ſie leitend zu berühren, von der Glasplatte entfernen, ſo tritt die bisher unmerkliche negative Ladung der EF hervor, und wir ſehen es deutlich, daß bis dahin die in EF enthaltene negative Ladung uns nur darum verborgen blieb, weil ſie durch die poſitive Ladung in CD gebunden gehalten wurde. Sie zeigt ſich am Electrometer und zeigt ſich auch bei der Berührung in einem überſchlagenden Funken. Bringt man die entladene Platte EF wieder an die Glasplatte, an welcher CD den

[1] Ganz dieſelben Erſcheinungen bietet die ſogenannte Franklin'ſche Tafel dar, eine auf beiden Seiten mit Zinnfolie belegte Glastafel, deren unbelegter Rand mit einer Auflöſung von Siegellack in Weingeiſt überſtrichen iſt. (M.)

alten Platz noch einnimmt, und berührt jene nun wieder, ſo giebt ſie einen neuen Funken; entfernt man ſie, immer iſolirt gehalten, ſo giebt ſie abermals einen Funken, bei neuer Zurückführung in die Nachbarſchaft von CD nochmals und ſo ferner, vorausgeſetzt, daß CD nicht durch Mittheilung an die Luft zu viele Electricität verliert. Auch dieſe wiederholt ſichtbar werdende Electricität läßt ſich leicht erklären, weil bei der Entfernung die negativ-electriſche Materie in EF, durch keine fremde Kraft an ihrer freien Thätigkeit gehindert, auf den dargebotenen Leiter übergeht, alſo EF dann völlig entladen iſt; aber zurückgeführt in den Wirkungskreis der CD zieht ſich wieder die negativ-electriſche Materie in EF gegen die nach CD gewandte Seite, die poſitive wird nach außen gedrängt, und ein dargebotener Leiter erhält einen Funken, EF iſt wieder in den negativen Zuſtand verſetzt, der in der Nähe von CD nicht kenntlich iſt, bei der Entfernung aber neue Spuren von Electricität darbietet. — Das, was bei der völligen Entladung vorgeht, wenn man beide Platten CD, EF während ihres gegenſeitigen Einfluſſes durch einen Leiter verbindet, will ich ſogleich an der electriſchen Flaſche ſelbſt erklären.

Die electriſche Flaſche.

Dieſe wenden wir nicht mehr in ihrer erſten unvollkommenen Geſtalt an, ſondern bedienen uns der an beiden Oberflächen mit Metall belegten Flaſchen. Ziemlich bald nämlich nach den erſten Verſuchen mit der Flaſche bemerkte man, daß das Glas zu dieſem verſtärkten Schlage fähig werde, wenn man beide Oberflächen mit einem leitenden Körper bedeckt. Bei den erſten Verſuchen war Waſſer an der einen, die das Glas umfaſſende Hand an der andern Seite der dünnen Glaswand der leitende Körper; jetzt wenden wir eine innen und außen das Glas gleich weit bedeckende Belegung von Stanniol an und laſſen oben einen breiten Rand ohne leitende Belegung, damit kein Funke über den Rand weg von einer Belegung zur andern übergehe. Die innere Metallbelegung ſteht mit dem Metallſtabe AB (XIII. Fig. 10), der ſich in eine Kugel B endigt, in Verbindung, und nun iſt die electriſche Flaſche zum Gebrauche fertig. Mit dieſer Flaſche laſſen ſich viele lehrreiche Verſuche anſtellen.

Der gewöhnlichſte Gebrauch der electriſchen Flaſche iſt, daß man die äußere Belegung mit der Hand berührt oder mit einem Leiter in Verbindung ſetzt, daß man ferner die Kugel B gegen den Conductor der Electriſirmaſchine hält und einige Zeit die Funken darauf ſchlagen läßt, daß man dann mit der einen Hand die äußere Belegung und zugleich mit der andern die Kugel B berührt, wobei man einen viel ſtärkern Schlag als der iſt, den man aus dem Conductor zu empfangen gewohnt iſt, empfindet. Faſſen ſich mehrere Perſonen bei den Händen, während die beiden äußerſten die beiden Belegungen der Flaſche berühren, ſo empfinden alle den Schlag zu gleicher Zeit; nur bei einer ſehr langen Kette von Perſonen fühlen ihn die in der Mitte befindlichen nicht. Will man ſich die unangenehme Empfindung des Schlages nicht zuziehen, ſo wendet man den Auslader (Fig. 10) an, den man an dem gläſernen

Handgriff LM hält, während der Leiter CDE mit B und mit der äußern Belegung verbunden wird, wo dann im Augenblicke der Berührung an B und E ein heller Funke und lebhafter Knall beobachtet wird.

Daß die Möglichkeit der Ladung der Flaſche darauf beruht, daß die äußere Belegung eine Ableitung hat, während die Funken des Conductors auf B ſchlagen, erhellt aus folgendem Verſuche. Man ſtellt die Flaſche auf einen recht trockenen Glasteller, ſo daß ſie völlig iſolirt iſt, und läßt auf B die Funken des Conductors ſchlagen, ſo dauert es nicht lange, bis die übergehenden Funken unbedeutend werden, und wenn man die Flaſche jetzt entladet, ſo bekommt man einen ſehr unbedeutenden Schlag, der, ſelbſt wenn man lange genug die Ladung vom Conductor auf B hat übergehen laſſen, immer gleich unbedeutend bleibt. Wir wollen dieſen Verſuch ſo abändern, daß wir die Funken auf B ſchlagen laſſen, aber wenn dieſe Funken nicht mehr lebhaft übergehen, einen Leiter in geringer Entfernung von der äußern Belegung der Flaſche halten; dann giebt die äußere Belegung Funken gegen dieſen Leiter und zugleich gehen wieder lebhaftere Funken vom Conductor auf die innere Belegung über; erſt nach längerer Fortſetzung der Ladung ſieht man, daß die auf B überſchlagenden Funken unbedeutender werden und die Flaſche, obgleich jetzt eine Ableitung von der äußern Belegung durch die immer an ihr hervorgehenden Funken ſtatt findet, ſich ihrer vollen Ladung nähert. Wenn man die innere Belegung durch B an dem Conductor unſerer gewöhnlichen Electriſirmaſchinen poſitiv ladet und die aus der äußeren Belegung der iſolirt ſtehenden Flaſche hervorgelockten Funken vermittelſt eines kleineren iſolirten Leiters auf ein Electrometer überträgt, ſo ſieht man, daß die hier hervorgehende Electricität poſitiv iſt; offenbar iſt es die durch Einwirkung der inneren poſitiven Ladung auf die Außenſeite der äußern Belegung getriebene poſitive Electricität, und die äußere Belegung wird mit jedem aus ihr hervorgehenden Funken immer ſtärker in negativen Zuſtand verſetzt; dieſe negative Electricität wird durch die innere poſitive Ladung mächtig angezogen, und ſie ſelbſt zieht dieſe ſich innen ſammelnde poſitive Electricität mächtig an. Daß hierdurch die Fähigkeit der innern Belegung, immer mehr Electricität aufzunehmen, ſteigt, erhellt aus dem Vorigen. Je dünner das Glas iſt, das heißt eigentlich, je näher die negativ-electriſche Materie an der einen, die poſitiv-electriſche Materie an der andern Seite des Glaſes einander ſind, deſto kräftiger ziehen ſie ſich gegenſeitig an, und die Ladung wird, bei ſtets fortgehender Mittheilung neuer poſitiver Electricität an die innere Belegung, deſto größer. Es könnte ſcheinen, als ob dieß ohne Grenzen fortgehen müßte; aber das iſt nicht der Fall. Freilich iſt es wahr, daß die der innern Belegung zugeführte poſitive Electricität mächtig gegen die Oberfläche des Glaſes gezogen wird und daher nur mit geringer Kraft gegen B zurückſtoßend wirkt; aber ſo ſehr ſie auch an der Oberfläche des Glaſes gebunden und unthätig gemacht wird, ſo iſt es doch offenbar, daß bei zunehmender Ladung auch nach und nach die dem fernern Eintritte poſitiv-electriſcher Materie bei B entgegenwirkende Abſtoßung ſtärker wird,

weshalb auch ein bei B auf der Flaſche befeſtigtes Electrometer allmälig ſteigt; dieſe Gegenwirkung wird endlich ſo ſtark, daß die Kraft der Electriſirmaſchine nicht mehr fähig iſt, neue Electricität hereinzudrängen, und hiemit tritt das Ende der Ladung ein. Indeß wirkt noch ein zweiter Umſtand ein, der die Ladung nicht einmal ſo groß werden läßt. Wie ſorgfältig man auch den Rand der Belegung ſo an das Glas anliegend mache, daß ſich keine Spitzen darbieten, ſo fehlen ſie doch nie gänzlich; dieſe aber laſſen einige electriſche Materie entweichen und immer ſtärker entweichen, je ſtärker die Ladung ſchon iſt, wobei es denn endlich, ohne daß die Flaſche ſich durch einen Funken entladet, dahin kommt, daß die vom Conductor auf B einſtrömende Electricität keine ſtärkere Ladung mehr bewirkt, ſondern nur jenen Verluſt, den man im Dunkeln als ein Leuchten der Flaſche gewahr wird, erſetzt. So, glaube ich, überſehen Sie die Bedingungen der Ladung völlig; ich will jetzt die Entladung näher betrachten.

Um dieſe genau zu verſtehen, wollen wir die geladene Fläſche auf dem iſolirenden Glasteller ſtehen laſſen und den Leiter, welcher an B Funken mittheilte, entfernen. Sie überſehen leicht, daß ich keinen Funken bekomme, wenn ich bloß die äußere Belegung berühre; denn da dieſe während der Ladung immer mit der Erde in Verbindung ſtand, weil die Ladung nur dadurch möglich war, daß dieſe Verbindung unterhalten ward, ſo hat die äußere Belegung kein Beſtreben, weder etwas herzugeben noch zu empfangen. Dagegen wenn man die innere Belegung der iſolirten Flaſche oder die Kugel B berührt, ſo bekommt man einen zwar unbedeutenden, jedoch merklichen Funken. Die innere Belegung hat nämlich eine ſolche Ladung erhalten, die gegen den geladenen Conductor mit einiger Kraft zurückwirkt, und der bloß im natürlichen Zuſtande ſich befindende Finger meiner Hand bekommt daher einen kleinen Funken, welcher jener zurückwirkenden Kraft angemeſſen iſt. Nachdem dieſer kleine Funke bei B hervorgelockt iſt, berühre ich wieder die äußere Belegung, aber ja nicht beide Belegungen zugleich; ich bekomme nun auch hier wieder einen kleinen Funken. Dieſer entſteht daher, weil zwar alle in der äußern Belegung geſammelte negativ-electriſche Materie am Glaſe feſtgehalten wurde, ſo lange im Innern noch die volle Ladung war, aber nach dem Wegnehmen der geringen Menge poſitiv-electriſcher Materie, die im erſten Funken verloren ging, nicht mehr die geſammte negativ-electriſche Materie auf der äußern Belegung feſtgehalten wird, ſondern ein kleiner Theil frei geworden iſt, den wir jetzt als Funken aus der äußern Belegung ziehen. Ganz aus denſelben Gründen erhalte ich nun bei abermaliger Berührung der innern Belegung oder der Kugel B einen dritten Funken, bei dann wiederholter Berührung der äußern Belegung einen vierten Funken und ſo fort. Immer nämlich bringt die ein wenig verminderte Menge der poſitiven Electricität auf der einen, der negativen Electricität auf der andern Seite die Wirkung hervor, daß jedes Mal auf der entgegengeſetzten Seite ein wenig Electricität wieder frei wird oder eine Spannung nach außen ausübt und alſo bei der Berührung ſich als kleiner Funke zeigt. Durch dieſe abwechſelnden Berührungen innen und außen

entladet man in zahlreichen kleinen Funken die Flaſche endlich ganz, ohne einen lebhaften Schlag zu erhalten; aber wenn man gleich anfangs die äußere und innere Belegung zugleich berührt hätte, ſo hätte man den vollkommenen Entladungsſchlag erhalten, indem alle dieſe Fünkchen ſich dann in unſrer Empfindung in einem untheilbaren Momente vereinigen. Bietet ſich nämlich der nach außen mit geringer Spannung wirkenden Electricität ein von B nach E (Fig. 10) gehender Leiter dar, ſo fängt die in B frei wirkende Electricität den Uebergang an, aber da in dem kürzeſten Augenblicke nun immer mehr und mehr von beiden Electricitäten zu freier Wirkſamkeit gelangt und der ganze Erfolg der vorhin ſo langſam fortſchreitenden Entladung in einem Augenblicke erfolgt, ſo iſt es wohl nicht zu verwundern, daß dieſer Erfolg dem Auge als ſehr glänzender Funke, der Empfindung als heftige Erſchütterung merkbar wird.

Um über die Natur jener einzelnen allmäligen Entladungen gar keinen Zweifel übrig zu laſſen, will ich noch einige Verſuche erwähnen. Nachdem die Flaſche geladen und, vom Conductor entfernt, iſolirt aufgeſtellt iſt, bringe man ein iſolirtes Prüfungsſcheibchen an B, damit dieſes den kleinen Funken der erſten theilweiſen Entladung empfange, ſo findet man das Scheibchen poſitiv geladen; man entlade nun das Scheibchen und bringe es an die äußere Belegung, damit es hier das zweite Fünkchen erhalte, ſo zeigt ſich das Scheibchen negativ; bei fortgeſetzter abwechſelnder Prüfung findet man, daß immer innen eine geringe Menge poſitiver Electricität, außen eine geringe Menge negativer Electricität in jedem Fünkchen frei wird, wenn die Ladung der innern Belegung von dem poſitiven Conductor ausging.

Ein anderer Verſuch zeigt eben dieß. Man bediene ſich einer Flaſche, wo (XIII. Fig. 11) am Rande ein iſolirender Arm AB angebracht iſt, der eine zweite Metallkugel C trägt, die in geringerem oder größerem Abſtande von der mit der innern Belegung in Verbindung ſtehenden Kugel D ihren Platz erhalten kann. Bringt man die Kugel C mit der äußern Belegung durch die Kette FE in leitende Verbindung, ſo kann man die Flaſche auf die gewöhnliche Weiſe laden, und wenn der Abſtand der Kugeln D, C nicht zu klein iſt, der Flaſche auch eine ſtarke Ladung geben. Hängt man nun eine Kugel von Kork, Hollundermark oder einem andern Leiter an einem nichtleitenden Faden LM ſo auf, daß ſie zwiſchen D und C hängt, ſo wird ſie abwechſelnd nach D und nach C gezogen und entladet ſo, indem ſie die poſitive Electricität von D nach C, die negative von C nach D bringt, allmälig die Flaſche.

Auch an jeder andern Flaſche wird ein an einem Seidenfaden hängendes Kügelchen, wenn man es der iſolirt aufgeſtellten Flaſche zuerſt an dem Knopfe der innern Belegung nähert, angezogen und dann zurückgeſtoßen; nähert man es nun der äußern Belegung, ſo wird es hier angezogen; die entgegengeſetzten Electricitäten beider Belegungen zeigen ſich alſo auch hier. Setzt man eine noch ungeladene Flaſche auf eine Harztafel, die mit Schwefelſtaub gleichmäßig beſtreut iſt, und läßt nun langſam einige Funken auf die innere Belegung der Flaſche fallen, ſo wird auf der Harztafel rund um den Boden der Flaſche

der Staub abgeworfen, und zwar erkennt man hier ſogleich die in Strahlen auslaufenden poſitiven Figuren, wenn es poſitive Funken waren, die die innere Ladung bewirkten, und die runden negativen Flecke, wenn die Ladung innen negativ gegeben wurde. Setzt man eine ſchon geladene Flaſche auf die Harztafel und läßt langſam einige kleine Funken aus der innern Belegung ausladend hervorgehen, ſo breitet ſich die aus der äußern Belegung hervorbringende, frei werdende Electricität auf der Harztafel aus, und zeigt nun negative Figuren, wenn eine innere poſitive Ladung durch jene Funken vermindert wird.

Die in Fig. 11 dargeſtellte Einrichtung der Flaſche hat auch den Vortheil, daß man die Stärke des Schlages, den man geben will, beſtimmen kann. Stehen nämlich die Kugeln D, C einander ſehr nahe, ſo ſchlägt ſchon bei ſchwacher Ladung der Funke über, weil die geringe Kraft der poſitiven inneren Ladung, indem ſie bei D wirkt, C negativ macht und dieſer Gegenſatz ſich bis zum Ueberſchlagen vergrößert. Man iſt daher ſicher, wenn man die Flaſche nicht bis zum Ueberſchlagen ladet, daß der Schlag, den man ſelbſt herauszieht, nicht heftiger iſt, als der, den man bei unveränderter Stellung der Kugeln aus dem überſchlagenden Funken beurtheilen konnte.

Auch ohne eine ſolche, näher an D gebrachte Leitung zur äußern Belegung hin ſchlagen die Flaſchen nicht ſelten über. Das Beſtreben der beiden getrennten Electricitäten, zu einander zu gelangen, findet nämlich zwar am ſtärkſten durch das Glas hindurch, aber doch auch an den Grenzen der Belegung um den Rand der Flaſche herum ſtatt; da das Glas, wenn es unbeſchädigt und gleichförmig iſt, auf keinen Fall ein Hindurchgehen geſtattet, ſo findet bei ſehr ſtarker Ladung ein Hinüberſchlagen des Funkens über den Rand ſtatt. Hätte die Flaſche einen Sprung oder befände ſich in der Glasmaſſe ein Leiter, der beide Belegungen verbände, ſo ginge die Electricität ſofort von einer Seite des Glaſes zur andern über und die Flaſche ließe ſich gar nicht mehr laden.

Wenn man die Flaſche in der Hand hält, während die Funken des Conductors auf die Kugel D der innern Belegung ſchlagen, ſo fühlt man bei den über den Rand ſchlagenden Entladungsfunken keinen Schlag. Die beiden Electricitäten gleichen ſich nämlich bloß aus und gehen nicht durch den Körper deſſen, der die Flaſche hält; dieſer kann nur den geringen Ueberſchuß poſitiver Electricität empfangen, den die innere Belegung über die natürliche Electricität voraus hat und den wir vorhin bei allmäliger Entladung in dem erſten Funken erhielten. Auch wenn man einen metalliſchen Leiter in die Hand nimmt, ihn an die äußere Belegung zuerſt feſt anlegt und, ohne ihn hier zu entfernen, nun auch an die Kugel B (Fig. 10) drückt, erhält man keinen Schlag, weil die ganze Ladung, vollkommen gut geleitet, zur andern Belegung übergeht. Auf dieſe Weiſe kann man ſelbſt größere Flaſchen, ohne Gefahr einen Schlag zu erhalten, vermittelſt eines mit der Hand berührten Leiters entladen; nur in dem Falle, wo der Leiter in dem Augenblicke, da er die innere Belegung entladet, nicht genau die äußere Belegung berührte, würde man den Schlag erhalten, indem die electriſche Materie den längern Weg

durch die Hand und den ganzen Körper des Menſchen, dann durch die Leiter, auf denen die Flaſche ſteht, bis zur äußern Belegung wählen würde, ſobald der metalliſche Leiter keine vollkommene Bahn für die Ausladung gewährte. Bei größern Batterien wird indeß niemand gern den ausladenden Leiter berühren, da es unſicher iſt, ob der Leiter ſtark genug iſt, um alle übergehende Electricität aufzunehmen, und im entgegengeſetzten Falle ſich ein Theil der Ladung durch den Körper des Beobachters auf gefährliche Weiſe entladen würde.

Andre Verſuche mit der Flaſche.

Daß man eine geladene Flaſche auch dadurch entladen kann, daß man ſie anſcheinend mit der entgegengeſetzten Electricität ladet, iſt leicht zu überſehen. Hat nämlich die Flaſche an dem poſitiven Leiter an der innern Seite eine poſitive Ladung erhalten und iſt dadurch das auf ihr angebrachte Electrometer gehoben (XIII. Fig. 12), ſo ſieht man dieſes ſich höher heben, wenn man die Ladung an eben dem Leiter fortſetzt; dagegen ſinkt es, wenn man die Ladung nun an dem Leiter des iſolirten Reibzeuges fortſetzt, indem das Reibzeug, welches immerfort ſeine poſitive Electricität an den Glascylinder oder die Glasſcheibe abgiebt, die an der innern Belegung der Flaſche geſammelte poſitive Electricität aus ihr herauszieht. Setzt man dieſe Ladung am Reibzeuge fort, ſo tritt, nachdem das Electrometer völlig geſunken iſt, ein neues Steigen ein, weil die Flaſche nun inwendig mit negativer Electricität geladen wird, wobei alle Erſcheinungen ebenſo eintreten, obgleich nun die poſitive Electricität an der äußern Belegung ſich ſammelt.

Die weite Fortleitung des electriſchen Schlages der Flaſche hat kurz nach Erfindung derſelben noch mehr als in ſpäterer Zeit die Aufmerkſamkeit der Beobachter erregt. Da die Ausladung der Flaſche in einem Zurückleiten der poſitiven Electricität von der einen Belegung nach der andern, und gleichzeitig der negativen Electricität auf dem entgegengeſetzten Wege, beſteht, ſo iſt es begreiflich, daß dieſe Ausgleichung auf dem kürzeſten Wege ſtatt findet. Läßt man einen Leiter, wie es Winkler, Lemonnier, Watſon und Andre gethan haben, von der äußern Belegung der geladenen Flaſche in das Waſſer eines Stromes gehen, und leitet man auf iſolirenden Unterlagen einen zur Berührung der innern Belegung beſtimmten Leiter bis zu 1000 Fuß von jenem Punkte abwärts, ſo wird, ſobald der letztere das Waſſer des Stromes und die innere Belegung berührt, die Flaſche entladen. Hat man daher die Leitung von der äußern Belegung aus ſo eingerichtet, daß ein Menſch mit einer Hand den Leitungsdraht der äußern Belegung hält und mit der andern einen Leiter, der bis in das Waſſer reicht, ſo erhält dieſe Perſon den Schlag, ſobald in jener großen Entfernung der das Waſſer berührende Leiter mit der inneren Belegung in Verbindung geſetzt wird. Mehrere jener Beobachter haben ſich überzeugt, daß ſelbſt bis auf 12000 Fuß und ſogar durch die Erde die Wirkung noch fühlbar iſt und daß ſie ohne merklichen Zeitverluſt erfolgt. [1]

[1] In der neueſten Zeit hat Wheatſtone nach einer ungemein ſinnreichen Methode Verſuche

Nach dem Entladungsſchlage ſehen wir die Flaſche als völlig in den natürlichen Electricitätszuſtand zurückgekehrt an; indeß iſt das nicht ganz richtig, ſondern wenn man nach einiger Zeit die Entladung noch einmal verſucht, ſo erhält man noch einen Funken, der jedoch immer ſchwach gegen die eigentliche Entladung iſt. Dieſer Rückſtand oder dieſes Reſiduum, das bei großen Flaſchen und vollends bei der Verbindung mehrerer Flaſchen noch ſehr bedeutend ſeyn kann, entſteht daher, weil die Belegungen das Glas nicht ſtreng in allen Punkten berühren. Während der Ladung nämlich nehmen, ſo ſchlecht auch die Leitung des Glaſes iſt, doch diejenigen Punkte des Glaſes, welche nicht in unmittelbarer Berührung mit der Belegung ſtehen, auch eine Ladung an; dieſe Punkte werden bei der ſchnellen Entladung nicht mit entladen, weil die electriſche Materie zu feſt an den Nichtleitern hängt; aber nach Verlauf längerer Zeit geht ſie dennoch in die Belegung über, die ſich daher nun wieder geladen zeigt und noch einen Funken giebt. Solche Ueberreſte zeigen ſich ſelbſt nach mehrmaliger Entladung noch, und ſelbſt eine völlig entladene Flaſche, aus der kein Funke mehr zu ziehen iſt, zeigt an feinen Electrometern immer noch Spuren ſehr ſchwacher Ladung.

Unter den zahlreichen Verſuchen, wozu die Flaſche Veranlaſſung giebt, will ich nur noch einige anführen, die mit theoretiſchen Betrachtungen in Verbindung ſtehen. Sie ſahen vorhin, daß eine iſolirt aufgeſtellte Flaſche ſich nicht laden ließ; aber wenn man die äußere Belegung der iſolirten Flaſche mit dem iſolirten Reibzeuge, die innere Belegung mit dem iſolirten Conductor des geriebenen Glaſes in Verbindung ſetzt, ſo gelingt die Ladung vollkommen. Das geriebene Glas entreißt nämlich dem Reibzeuge die poſitiv-electriſche Materie und führt ſie durch den Conductor der innern Belegung der Flaſche zu; die dadurch aus der äußeren Belegung ausgetriebene poſitiv-electriſche Materie geht wieder dem Reibzeuge zu und giebt dieſem die Fähigkeit, aufs neue ſie an den Cylinder abzugeben; die beiden Belegungen der Flaſche kommen aber dadurch immer mehr in entgegengeſetzten Zuſtand.

Man kann eine Flaſche an der andern laden. Iſt AB (XIII. Fig. 13) eine iſolirt aufgeſtellte Flaſche, die poſitive Funken für die innere Belegung erhält, ſo geht die poſitiv-electriſche Materie der äußern Belegung von AB auf die mit ihr in Berührung geſetzte Kugel der zweiten Flaſche CD über, und wenn die äußere Belegung dieſer durch die Hand E mit der Erde in leitender Verbindung ſteht, ſo werden beide Flaſchen zugleich und beinahe gleich ſtark geladen, weil die auf die innere Belegung der erſten Flaſche geleitete poſitive Electricität faſt ebenſo viele poſitiv-electriſche Materie aus der äußern Belegung und zur zweiten Flaſche hinüber treibt.

Aus der Natur der electriſchen Ladung der Flaſche läßt ſich auch erklären,

angeſtellt, aus denen ſich ergab, daß bei der Entladung einer electriſchen Flaſche durch einen langen, in der Nähe der beiden Belegungen und in der Mitte unterbrochenen Draht die Funken an den Enden gleichzeitig und früher als der in der Mitte erſcheinen. Die Geſchwindigkeit der Electricität ſchätzt er zu 288000 engl. oder gegen 63000 deutſche Meilen, wonach ſie 1½ mal ſo groß als die des Lichtes wäre. (M.)

warum dieſe Ladung ſich in der Luft nicht ſo bald verliert. Ein gewöhnlich geladener Leiter bietet die in ihm angehäufte Electricität auf ſeiner ganzen Oberfläche der Ableitung durch die Luft dar, und in jedem Punkte der Oberfläche findet ein Beſtreben der electriſchen Materie, in die Luft überzugehen, ſtatt; in der Flaſche hingegen iſt die größte Menge der electriſchen Materie an beiden Seiten des Glaſes ſo feſtgehalten, daß ſie gar kein Beſtreben hat, in die Luft überzugehen. Der Verluſt an die umgebende Luft iſt alſo nur ungefähr ſo groß, als er bei einem gewöhnlich geladenen Leiter ſeyn würde, wenn ſeine Ladung ſo ſchwach iſt, wie der der iſolirten Flaſche bloß an der innern Seite entzogene Funke angiebt. Dennoch wird mit der Zeit die Flaſche auch an der Luft entladen, weil jener kleine Ueberſchuß an poſitiver Electricität an der einen Seite, hierauf ein wenig negative Electricität an der andern Seite verloren geht und ſo nach und nach die ganze Ladung ſich den Lufttheilchen mittheilt; aber ſelbſt nach zwei Tagen findet man mittelmäßig geladene Flaſchen in trockner Luft noch unentladen.

Eine ähnliche ſtille Entladung, wie hier die Luft endlich bewirkt, kann man mit Spitzen, die man gegen die äußere und gegen die innere Belegung der Flaſche richtet, hervorbringen. Man ſtellt die geladene Flaſche iſolirt auf und hält zwei ſpitzige metalliſche Leiter mit ihren Spitzen zugleich gegen die obere Kugel und gegen die äußere Belegung, ohne dieſe zu berühren; nachdem man dieß einige Zeit gethan hat, findet man bei Anwendung des Ausladers, daß faſt die ganze Ladung verloren iſt.

Man kann die Ladung einer Flaſche unter zwei Flaſchen austheilen; aber es iſt ſchwierig, über das Maaß der Ladung für die eine und die andere Flaſche genau zu urtheilen. Wenn man zwei Flaſchen neben einander aufſtellt, wie AB, CD (XIII. Fig. 14), und nun die eine AB ladet, ſo kann man zuerſt die äußeren Belegungen beider verbinden, ohne daß dieß irgend eine Aenderung hervorbringt, weil ja die äußere Belegung der Flaſche AB während der Ladung mit der Erde in Verbindung ſtehen mußte; wird aber nun ein iſolirter Leiter zwiſchen den beiden Kugeln E, F oder den innern Belegungen angebracht, ſo wird auch die Flaſche CD geladen, weil ſich zuerſt nur die bei E hervorſtrebende poſitive Electricität nach F entladet, dann aber auch von B nach D negative Electricität, wieder von E nach F poſitive Electricität geht u. ſ. w. Wären nun beide Flaſchen in allen Hinſichten genau gleich, ſo wäre es gewiß, daß die Ladung zur Hälfte in der einen zurückbleiben, zur Hälfte in die andere übergehen würde; aber ſelbſt wenn die Größe der belegten Fläche beider Flaſchen gleich iſt, kann man von der völligen Gleichheit der Austheilung der Ladung nur dann überzeugt ſeyn, wenn die Flaſchen von gleich dickem Glaſe ſind. Sind ſie ungleich groß, ſo iſt über die Austheilung der Ladung gar nicht genau zu urtheilen möglich, aber gewiß iſt es nicht ſtreng richtig, daß ſich die Ladung nach dem Verhältniſſe der Quadratzolle der belegten Flächen austheilt. Wenn die geladene Glasfläche bei mehrern vereinigten Flaſchen ſehr groß und die mit ihr in Verbindung

geſetzte Flaſche ſehr klein iſt, ſo kann dieſe durch die Gewalt des plötzlichen Ueberganges zerſchlagen werden.

Die electriſche Batterie.

Die Wirkung der Entladung einer Flaſche nimmt mit der Größe der belegten Fläche zu, und da man mit einer einzigen Flaſche keine ſehr große belegte Fläche erhalten kann, ſo verbindet man mehrere Flaſchen, die dann eine electriſche Batterie bilden. Die ſo verbundenen Flaſchen müſſen auf einer gut leitenden Unterlage ſtehen, damit die äußere Belegung die poſitiv-electriſche Materie entlaſſen, die negativ-electriſche heranziehen kann. Die innern Belegungen werden durch die bis oben hervorragenden Metallleiter in Verbindung geſetzt, und indem der Funke auf dieſe vereinigten Leiter ſchlägt, bekommen nun alle Flaſchen ihren Antheil an der Ladung. Um ſo viele Flaſchen zu laden, bedarf es vieler Umdrehungen des Cylinders oder der Scheibe der Electriſirmaſchine, und man kann ſagen, genau nach dem Quadratmaaß der Belegungen fordert die Batterie mehr Electricität, um ganz geladen zu werden. Kleinere Maſchinen kann man ſchon deshalb zu Ladung großer Batterien nicht anwenden, weil ſie bei ſehr großem Zeitverluſte doch keine ſtarken Ladungen hervorbringen könnten, indem in längerer Zeit hier an allzu vielen Stellen Electricität verloren gehen würde.

Bei dem Ausladen einer großen Batterie darf man nicht wagen, mit der Hand den Auslader anzubringen, da bei der Annäherung leicht der Schlag den Beobachter ſelbſt treffen könnte; man bringt daher einen mit der äußern Belegung, ſo wie die Figur (XIII. Fig. 15) zeigt, durch eine Kette verbundenen Leiter ABC an, deſſen beweglicher Theil BC durch die hinreichend lange ſeidene Schnur CDE gehalten wird; löſet man die Schnur bei E, ſo fällt C auf F herab und entladet die Batterie, während der Experimentator ſich entfernt genug befindet.

Noch angenehmer und belehrender iſt der von Brooke angegebene Auslader. Er beſteht (XIII. Fig. 16) aus einem metallenen Waagebalken AB, der bei C unterſtützt iſt und ſich um C drehen kann. Unter beiden Kugeln B, A befinden ſich die Metallkugeln D, E, deren eine D vor Anfang des Verſuches mit der äußern Belegung der Batterieflaſchen, die andre E mit den innern Belegungen durch den Leiter EF in Verbindung geſetzt iſt. Vor Anfang der Ladung ſchiebt man das Gewicht G ſo weit, als man nach dem Maaße der beabſichtigten Ladung für paſſend hält, gegen B zu, und dieſe Kugel legt ſich an D an. Fängt nun die Ladung an, ſo wird A gegen E angezogen, aber dieſe Kraft muß das durch G hervorgebrachte Uebergewicht überwinden, und erſt wenn die Ladung dazu ſtark genug iſt, ſchlägt der Waagebalken über und die Entladung findet ſtatt.

Von den mächtigen Wirkungen dieſer Batterien werde ich in der Folge reden.

Vierundſechzigſte Vorleſung.

Der Condenſator.

Von den Mitteln, die Electricität mächtig zu verſtärken, mit welchen ich Sie neulich unterhielt, gehe ich jetzt zu Mitteln über, um ſehr geringe Spuren von Electricität zu beobachten. Dieſe Mittel hängen genau von denſelben Principien ab, die wir neulich betrachtet haben. Der im Jahre 1783 von Volta erfundene Condenſator hat ſeinen Namen daher, weil er die Electricität, die aus einem ſchwach geladenen Körper zufließt, verdichtet und dadurch merklicher macht.

Die beſte Art, den Condenſator anzuordnen, iſt die, daß man zwei Platten AB, CD (XIII. Fig. 17), deren eine AB auf der iſolirenden Unterlage EF ruht, vollkommen eben abſchleift, ſo daß ſie ſich genau an einander anſchließen, und dann mit einer ſehr dünnen Schicht eines nicht leitenden Firniſſes an einer Seite glatt überzieht. AB iſt an der oberen, CD an der unteren Seite mit dieſem Firniß ſehr dünn und gleichförmig überzogen; GH iſt ein iſolirendes Stäbchen, um die Platte auf AB aufzuſetzen oder abzuheben. An AB ſind die mit leitenden Fäden befeſtigten Kugeln I angebracht, die ſich abſtoßen, wenn in AB eine frei wirkende Ladung iſt.

Will man den Condenſator anwenden, ſo geſchieht dieß immer nur da, wo die gewöhnlichen Electrometer keine oder nur ſchwache Spuren von Electricität zeigen. Man ſetzt dann die obere Platte CD auf AB und bringt den Leiter, in welchem man einige Electricität vermuthet, mit der unteren, nicht mit Firniß überzogenen Seite der Platte AB in Berührung. Während er ſo an AB anliegt, berührt man die obere Seite der Platte CD mit dem Finger und läßt eine kurze Zeit lang die Einwirkung, welche ſo ſtatt findet, fortdauern. Alsdann zieht man ſowohl die Electricitätsquelle, als den Finger weg und hebt die Platte CD an dem iſolirenden Handgriffe auf; ſobald dieß geſchieht, gehen die Kugeln I aus einander, wenn ſich wirklich noch Electricität in dem zur Ladung angewandten Körper befand und dieſer bei ſchwacher Ladung doch nach und nach noch eine hinreichende Menge von Electricität hergeben konnte.

Die Erklärung dieſer Erſcheinungen iſt nicht ſchwer. Da beide Platten AB, CD mit einer dünnen Schicht eines iſolirenden Firniſſes bedeckt ſind, ſo bilden ſie, indem ſie auf einander liegen, eine belegte Platte, nämlich zwei durch einen dünnen iſolirenden Körper getrennte Leiter. Die iſolirende Schicht muß dünn und völlig gleichförmig ſeyn, damit ſelbſt eine ſchwache Ladung des einen Leiters hinreichend und in allen Punkten gleich ſtark auf den andern wirke. Indem man nun den ladenden Körper, ich will als Beiſpiel die Kugel einer anſcheinend völlig entladenen Flaſche annehmen, an den untern Leiter hält, nimmt dieſer zuerſt nur eine Ladung von ebenſo unmerklicher Stärke

an, wie ſie in dem Knopfe der Flaſche vorhanden iſt; aber wenn man den obern Leiter berührt, ſo drängt die untere ſchwache poſitive Ladung aus der obern Platte ein wenig poſitive Electricität zurück und neue negative wird herangezogen; dadurch wird die untere fähig, mehr poſitive Electricität aufzunehmen, verſetzt mithin die immerfort mit der Erde in Verbindung bleibende obere Platte immer mehr in negativen Zuſtand, und bringt ſo eine Ladung der beiden Leiter hervor, die in ähnlichem Verhältniſſe gegen die ſchwache Quelle der Electricität verſtärkt iſt, wie es bei der geladenen Flaſche in Vergleichung gegen den ſie ladenden Leiter der Electriſirmaſchine der Fall war. Entfernt man endlich den ladenden Körper und auch die den andern Leiter berührende Hand, ſo bleibt die Ladung in den Platten, aber die Kugeln I gehen nicht aus einander, weil die mit ihnen in leitender Verbindung ſtehende poſitive Ladung an der iſolirenden Schicht durch die Anziehung der entgegengeſetzten Electricität feſt gehalten wird; erſt wenn man die obere Platte ſchnell aufhebt und dadurch die Kraft, welche die poſitive Ladung der unteren Platte feſthielt, entfernt, ſo wird dieſe ganze Ladung frei nach allen Seiten wirkend, ſie geht alſo auch in die Kugeln I über, und dieſe zeigen ſich geladen und ſtoßen ſich ab. Bringt man die obere Platte, während man ſie immer iſolirt hält, wieder näher an die untere, ſo fallen die Kugeln I wieder zuſammen und zeigen bei der gegenſeitigen Berührung beider Platten keine Electricität mehr, ſo oft man aber den obern Leiter entfernt, gehen ſie wieder aus einander, bis endlich die bei jeder Trennung frei nach außen wirkende Electricität ſich in der Luft zerſtreut.

Durch dieſe Anwendung des Condenſators findet man, daß electriſche Flaſchen, wenn ſie auch wiederholt entladen ſind und am Electrometer keine Spur von Electricität mehr zeigen, oft noch ſehr lange Zeit nach der Ausladung Electricität enthalten. Dieſe Flaſchen ſind beſonders gut geeignet, um den Verſuch mit dem Condenſator anzuſtellen, weil ſie bei ſehr ſchwach wirkender Electricität doch eine beinahe unerſchöpflich zu nennende Quelle von Electricität darbieten. Nur in ſolchen Fällen nämlich kann der Condenſator wirkſam ſeyn, wo nicht die geſammte Menge der ihm zugeführten Electricität gering iſt, ſondern wo dieſe groß genug, aber von ſchwacher Spannung iſt. Wollte man ein ſehr kleines ſchwach geladenes Metallſcheibchen anwenden, um den Condenſator zu laden, ſo würde die Condenſatorplatte freilich faſt die ſämmtliche Ladung jener Scheibe aufnehmen, aber damit, wenn die Condenſatorplatte größer als die ladende Platte iſt, noch nicht einmal ſo ſtark als dieſe ſelbſt geladen ſeyn. Hätte man einen ſehr großen Leiter von ſehr ſchwacher Ladung angewandt, ſo würde man ſeine Ladung am Condenſator bemerkbar machen, weil die vergleichungsweiſe kleine Condenſatorplatte den größten Theil der Ladung der größern Platte zu ſich hin zieht und jene alſo, ſobald ihre Electricität nicht mehr gebunden iſt, als ſtark geladen erſcheint. Mit der entladenen Flaſche iſt es ebenſo, da ſie noch viel mehr Electricität an der Glasoberfläche durch gegenſeitige Anziehung beider Electricitäten gebunden

enthalten muß, als ſich an der Kugel frei wirkend zeigt, und dieſe vom Glaſe her zuſtrömt, wenn der Condenſator ſie aufnimmt. Auch die ſchwache Electricität der Atmoſphäre kann man, da ſie unerſchöpflich zufließt, am Condenſator merkbar machen.

Um den Grad der Condenſation kennen zu lernen, kann man auf folgende Weiſe verfahren. Man bringt auf dem Glaſe, in welchem ſich die Kugeln oder Strohhalme des Condenſators befinden, eine Theilung an, um ein Maaß der Abſtoßung zu haben, und ſucht dieſes Maaß mit wirklichen Graden ſtärkerer und ſchwächerer Electricität zu vergleichen, wozu ſich im Vorigen ſchon Anleitungen finden. Nun nimmt man eine kürzlich entladene Flaſche, die auch ohne Condenſation die Kugeln noch ein wenig, z. B. 1 Grad, aus einander treibt, ſo daß man die nicht condenſirte Ladung als = 1 Grad anſehen kann; eben dieſe Flaſche wendet man zum zweiten Male an, um nach den oben angegebenen Regeln eine Ladung durch Condenſation zu erhalten, und wenn man nun, beim Aufheben der obern Platte, das Electrometer auf 20 Grad gehen ſähe, ſo wüßte man, daß der Condenſator zwanzigfach verdichtet, daß er alſo z. B. eine ganz unmerkliche Ladung von $^1/_5$ Grad noch als 4 Grad betragend kenntlich machen würde.

Man kann eine ſehr ſchwache Ladung noch mehr kenntlich machen, wenn man zwei Condenſatoren, einen mit großen und einen mit kleinen Platten, nach einander gebraucht. Iſt nur die Electricitätsquelle unerſchöpflich genug, um den großen Condenſator zu laden, ſo wird an ihm ſchon die Electricität verſtärkt; aber ſeine geladene Platte kann nun, nachdem die andre entfernt iſt, wieder zur Ladung der Platte des kleinern Condenſators angewandt werden, und wenn jene zehnmal ſo groß iſt als dieſe, ſo wird die Condenſation bei der zweiten Operation ziemlich nahe auf das Zehnfache deſſen ſteigen, was der größere Condenſator ergab.

Um aber über die Reſultate dieſer Beobachtungen ſicher zu urtheilen, muß man ſich allemal vor dem Gebrauche des Condenſators überzeugen, ob er noch irgend etwas von Ladung enthält, indem man ſonſt auch dieſe fremde Wirkung nachher als Erfolg der angebrachten Ladung anſieht. Man legt daher beide Platten auf einander und berührt beide zugleich an den leitenden Seiten mit den Fingern, um den Condenſator zu entladen; dann hebt man die obere Platte auf, und es ſoll ſich nun der Condenſator als ganz ungeladen zeigen; wenn das nicht der Fall iſt, ſo kann man die weitern Verſuche nicht eher anfangen, als bis es gelungen iſt, ihn völlig zu entladen. Dieſe kleinen Ladungen des Condenſators ſelbſt können leicht entſtehen, wenn etwa durch Abwiſchen der gefirnißten Oberflächen dieſe ein wenig electriſch geworden ſind, oder wenn ein ähnliches Reſiduum wie bei geladenen Flaſchen von frühern Ladungen des Condenſators zurückgeblieben iſt. Große Vorſicht erfordern übrigens dieſe Verſuche, ſo wie alle die, welche ſehr feine Unterſuchungen betreffen.

Aehnliche Inſtrumente ſind unter den Namen Duplicator, Luftcondenſator ꝛc. angegeben worden, da ſie aber auf gleichen Principien beruhen, ſo übergehe ich ſie.

Das Electrophor.

Dagegen verdient das mit dem Namen: beſtändiger Electricitätsträger, **Electrophor**, belegte Inſtrument eine etwas genauere Betrachtung, da hier einiges Unerwartete vorkommt, worüber wir indeß bei genauerer Betrachtung den Aufſchluß in den bisher erklärten Grundſätzen finden.

Das Electrophor beſteht aus zwei Stücken. Das erſte iſt ein Harzguß, der in einem breiten und flachen Metallgefäße, die **Form** genannt, ſo gegoſſen iſt, daß er feſt mit dieſem vereinigt erhärtet iſt und eine recht glatte, ebne, von Spalten und Blaſen freie Oberfläche darbietet. [1] Das zweite Stück des Electrophors beſteht in einer Metallplatte oder einer mit Steinöl oder Metallpapier überzogenen Holzſcheibe, die an einem iſolirenden Stiele oder an ſeidnen Schnüren abgehoben und wieder aufgeſetzt werden kann. Dieſe Metallplatte, die man den **Deckel** nennt, muß etwas kleiner als die Harztafel ſeyn, ſo daß ſie, mitten auf die Harztafel geſetzt, von dem Metallrande der Form noch ziemlich entfernt bleibt; ſie muß nirgends Spitzen, die ein Ausſtrömen veranlaſſen könnten, darbieten, und auch am Rande ſo abgerundet ſeyn, daß dort keine ſcharfe Kante eine Gelegenheit zum Ausſtrömen gebe.

Um das Electrophor zu gebrauchen, hebt man den Deckel ab und reibt die Harzfläche mit einem Katzenfelle oder ſchlägt ſie mit einem Fuchsſchwanze, wodurch jene negativ-electriſch wird. Man ſetzt nun den Deckel auf, berührt mit zwei Fingern zugleich die obere Seite des Deckels und den Rand der Form, worin die Harztafel ſich befindet, wobei man einen leichten electriſchen Schlag empfindet, und hebt den Deckel auf; dann giebt er bei der Berührung einen Funken. Nachdem man ſo den Deckel entladen hat, ſetzt man ihn wieder, iſolirt gehalten, auf die Harzplatte, bringt den Deckel und den Rand der Form in leitende Verbindung, und erhält dabei abermals wie vorhin einen eben ſolchen electriſchen Schlag; man hebt dann den Deckel wieder in die Höhe und erhält wieder einen Funken. Dieſen Verſuch kann man, ſo oft man will, wiederholen, ohne eine Abnahme der Funken zu bemerken und ohne daß es einer neuen Electriſirung der Harzplatte bedarf, welche vielmehr die ihr einmal ertheilte Electricität lange Zeit unvermindert behält.

Um die Erſcheinungen näher kennen zu lernen, wollen wir zuerſt die Electricität des aufgehobenen Deckels, ehe er ſeinen Funken abgiebt, prüfen. Sie findet ſich poſitiv, und dieß iſt es, was auffallend ſcheinen kann, da der Deckel doch mit der negativ-electriſchen Harzplatte in Berührung geweſen iſt. Aber daß hier nicht von einer bloßen Mittheilung der Electricität die Rede ſeyn kann, erhellt ſchon aus der unerſchöpflichen Wirkung, die offenbar nicht ſo erfolgen könnte, wenn die Harzfläche ihre Electricität abgäbe; vielmehr beruht die immer gleiche Erneuerung dieſer electriſchen Wirkung wieder auf einer gegenſeitigen Anziehung der electriſchen Materien. Indem nämlich die

[1] Eine der beſten Harzmaſſen beſteht aus 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen venetianiſchen Terpentins, 2 Theilen Wachs und ½ Theil Pech. (M.)

Harzplatte mit einem Thierfelle gerieben wird, während die untere Seite durch das Metall der Form mit der Erde in Verbindung ſteht, wird zugleich die obere Seite des Harzes negativ, die untere poſitiv; es wird völlig ſo wie bei der Flaſche, wenn die Ladung ſich verſtärkt, immer mehr die negativ-electriſche Materie an der untern Seite des Harzes weggedrängt, die poſitiv-electriſche dagegen herangezogen, und die beiden ſich gegenſeitig anziehenden Materien, die negative an der obern, die poſitive an der untern Seite, halten ſich gegenſeitig gebunden, ſo daß keine ein Beſtreben hat, zu entweichen. Nach der Ladung wollen wir uns die metallene Form CD auf dem iſolirenden Fuße AB (XIII. Fig. 18) aufgeſtellt denken und nun den Deckel EF iſolirt aufſetzen. Da die auf der Oberfläche des Harzes geſammelte negative Electricität faſt ganz durch die gegenüberſtehende poſitive gebunden gehalten wird, ſo hat ſie nur wenig Beſtreben, zum aufgeſetzten Deckel hinüber zu gehen, und da die Berührung des aufgeſetzten Metalls mit dem Harze nicht ſehr innig iſt und vielleicht kein Punkt ſo nahe berührt wird, daß nicht noch eine dünne Luftſchicht den Uebergang der Electricität hinderte, ſo findet allenfalls nur in den wenigen Punkten, die wirklich berührt werden, ein Uebergang negativ-electriſcher Materie ſtatt. Dagegen befindet die ganze untere Fläche des Deckels ſich unter dem mächtigen Einfluſſe der ihm ſo nahe liegenden negativen Harzfläche. Man kann ſich dieß ſo verſinnlichen. Geſetzt der Deckel ruhte (Fig. 19) auf den wenigen Harzſpitzen a, b, c, ſo würden freilich die äußerſten Punkte dieſer Vorragungen eine geringe Menge negativer Electricität an den Deckel FG abgeben; dagegen aber würde, weil wegen der Nichtleitung des Harzes keine weitere Mittheilung ſtatt findet, die abſtoßende Kraft der ganzen Fläche ac bewirken, daß die obere Seite des Deckels FG negativ, die untere poſitiv wird; die in FG enthaltene electriſche Materie wird durch Vertheilung ſo getrennt, daß ſich die poſitiv-electriſche Materie nach der untern Seite, die negativ-electriſche nach der obern begiebt. Berührt man nun bloß die obere Seite des Deckels, ohne zugleich die Form mit zu berühren, ſo nimmt man die dort angehäufte, negativ-electriſche Materie fort. Die auf der obern Fläche des Harzes CD (Fig. 18) angehäufte negative Materie hat jetzt nahe über ſich an der Unterſeite des Deckels EF und nahe unter ſich an der Unterſeite des Harzes poſitive Electricität; die letztere wurde gebunden gehalten, ſo lange der Zug von EF her noch nicht ſtatt fand, ſie iſt alſo jetzt zum Theil frei geworden und tritt in die das Harz umgebende metallene Form zurück, durch deren Berührung man ſie ableitet und ſo den Zug nach dieſer Seite ſchwächt, wodurch EF fähig wird, noch mehr poſitive Electricität aufzunehmen. Bei wiederholter abwechſelnder Berührung des Deckels und der Form würde ſo nach und nach etwas poſitive Electricität aus der Form entlaſſen und nach dem Deckel hinübergeführt, und dieſes geſchieht in einem einzigen, ſtechenden Schlage oder Uebergange, wenn man Deckel und Form zugleich berührt, indem dann ſo viel + E, als nöthig iſt, von der Form auf den Deckel übergeht und dieſer nun offenbar poſitiv geladen iſt. So lange der Deckel ſo nahe in

der Nachbarſchaft der negativen Electricität bleibt, die ſich auf der Oberfläche des Harzes befindet, iſt dieſe poſitive Ladung gebunden, man kann den Deckel oben berühren, ohne ſie wegzunehmen; aber wenn man den Deckel aufhebt, ſo entzieht man die poſitive Electricität der Wirkung der auf ſie einwirkenden Kraft, der Deckel zeigt ſich als geladen und giebt einen Funken.

Da hiebei die Harzoberfläche ſo gut wie gar nichts von ihrer negativen Electricität verloren hat, ſo läßt ſich der Verſuch mit immer gleichem Erfolge wiederholen; denn immer iſt es die auf der Harzoberfläche feſt gehaltene negative Electricität, die, ohne ſelbſt verändert zu werden, das Aufnehmen neuer Electricität im Deckel begünſtigt.

Wenn man den Deckel iſolirt auf die Harzfläche ſetzt und ſogleich, ohne ihn zu berühren, wieder abhebt, ſo zeigt der Deckel keine Electricität; denn wenn gleich ſeine natürliche Electricität eine Veränderung erlitten hat, indem, während des Ruhens auf der Harzplatte, ſich die poſitive Electricität auf die untere, die negative auf die obere Seite begab, ſo verbinden ſie ſich doch ſogleich wieder, wenn der Deckel empor gehoben wird, und der natürliche Zuſtand iſt dann hergeſtellt. Will man ſich von allen Veränderungen überzeugen, die in dem Deckel und der Form vorgehen, ſo muß man die Form iſolirt aufſtellen und auch ſie muß kein Ausſtrömen der Electricität geſtatten. Iſt die Harzfläche electriſirt und man hat die Form berührt, ſo kann offenbar der Rand der Form keine Electricität zeigen; ſetzt man aber den Deckel auf, ohne ihn zu berühren, ſo zeigt ſich die mit einem iſolirten Prüfungsſcheibchen von der oberen Seite des Deckels auf ein Electrometer übergetragene Electricität negativ, die vom Rande der Form auf das Electrometer übergetragene poſitiv; jene iſt die abgeſtoßene negative, dieſe die aus ihrer frühern Bindung gelöſte poſitive. Bringt man einen Leiter zwiſchen den Deckel und den Rand der Form, ſo zeigt das Prüfungsſcheibchen keine Electricität mehr; hebt man aber den Deckel empor, ſo iſt der Rand der Form negativ, weil die poſitive Electricität ſich wieder an die untere Seite des Harzes begeben und die negative ſich von da entfernt hat, nachdem der Deckel mit ſeiner poſitiven Electricität aus der Nähe weggerückt iſt.

Wenn man den gehobenen Deckel gar nicht entladet, aber durch ein auf ihm aufgeſetztes Electrometer den Zuſtand ſeiner Ladung kenntlich macht, ſo verſteht es ſich zuerſt von ſelbſt, daß das Electrometer keine Ladung zeigt, wenn der auf der Harzplatte ſtehende Deckel mit der Erde in Verbindung geſetzt worden iſt. Hebt man ihn langſam und iſolirt, ſo ſteigt das Electrometer, ſinkt aber immer wieder, wenn man den Deckel herabſenkt, indem die auf ihm reichlich vorhandene poſitive Electricität nur dann ſich über den ganzen Deckel und bis zum Electrometer hin verbreitet, wenn er ſich nicht in der Wirkungsſphäre der negativen Electricität auf der Harzplatte befindet. Entladet man den Deckel, wenn er hoch gehoben iſt, und nähert ihn dann iſolirt der Harzplatte, ſo ſteigt das Electrometer und zwar nun mit negativer Electricität; hebt man ihn aber wieder, ohne ihn zu berühren, ſo zeigt ſich

keine Electricität mehr. Bei allen dieſen Verſuchen muß der Deckel ſo gehoben werden, daß er der Harzplatte parallel bleibt; giebt man ihm eine geneigte Stellung, ſo geht die Electricität zu ſehr auf eine Seite des Deckels über und ſtrömt dann leichter aus.

Erfindung des Electrophors. Anwendung deſſelben. Electriſche Lampe.

Doch ich habe nun wohl hinreichend den ganzen Gang der Erſcheinungen erklärt, und fürchte faſt, daß alle dieſe Einzelnheiten Ihnen nur als Wiederholungen erſcheinen werden. Ich füge daher nur noch die kurze Bemerkung hinzu, daß ſchon Wilke 1762 Wirkungen wie die, welche das Electrophor zeigt, an beweglichen Belegungen einer Glasplatte dargeſtellt hatte, daß aber Volta 1775 durch Erfindung des Electrophors in ſeiner jetzigen bequemen Form und durch eine vollſtändigere Erklärung der damit angeſtellten Verſuche ſich ein bedeutendes Verdienſt um die Erweiterung der Lehre von der Vertheilungs-Electricität erwarb. Lichtenberg ſtellte kurz nachher Verſuche mit einem Electrophor von 6 Fuß Durchmeſſer an, bei welchem die Verbindung des Deckels mit der Form einen ſo empfindlichen Funken hervorbrachte, daß man ihn ungern oft durch die Hand hervorgehen ließ.

Daß man mit den aus dem aufgehobenen Deckel gezogenen Funken electriſche Flaſchen laden und den Deckel zu allen den Verſuchen gebrauchen kann, wozu der Leiter der Electriſirmaſchine dient, verſteht ſich von ſelbſt; aber es ſcheint ſeltſam, daß man durch eine am Electrophor ſelbſt geladene Flaſche jenen wieder noch mehr verſtärken kann. Um dieß zu thun, muß man den oft nach einander in die Höhe gehobenen Deckel ſeine poſitiven Funken auf das Innere der Flaſche ſchlagen laſſen und die ſo geladene Flaſche auf die Harzfläche ſetzen, wo ſie dann iſolirt ſteht. Berührt man hierauf die innere Belegung, ſo bekömmt man, wie Sie wiſſen, nur einen kleinen Funken, aber es findet zugleich ein Uebergang negativer Electricität aus der äußern Belegung auf die Harzfläche ſtatt, und dieſer wiederholt ſich bei jeder Berührung der innern Belegung. Setzt man daher nach und nach die Flaſche auf alle Punkte der Harzfläche, ſo ertheilt man ſo dem Electrophor eine verſtärkte Ladung.

Als eine angenehme und nützliche Anwendung des Electrophors verdient noch die electriſche Lampe erwähnt zu werden. Man giebt dieſem ziemlich allgemein bekannt gewordenen Inſtrumente nach Pfaff's Vorſchrift am beſten folgende Einrichtung, bei der meiſtens Langenbucher's Vorſchläge zum Grunde liegen. Ein Gefäß D (XIII. Fig. 20) enthält Waſſerſtoffgas, welches in demſelben Augenblicke, wo der geöffnete Hahn K ihm einen Ausfluß geſtattet, durch einen zwiſchen L und p hervorgelockten Funken entzündet wird. Das ganze Inſtrument beſteht nämlich aus zwei Theilen, dem Glaſe D mit der zugehörenden, oben erweiterten Glasröhre E, zur Entwickelung des Waſſerſtoffgaſes, und dem Electrophor, das ſich in dem Kaſten A befindet. Das Gefäß D wird zuerſt mit verdünnter Schwefelſäure ganz gefüllt und die obere

Glasröhre E, an welcher in I ein hinreichend großes Stück Zink befeſtigt iſt, eingeſenkt. Durch das bei der Auflöſung des Zinkes entwickelte Waſſerſtoffgas füllt ſich das Gefäß D mit Waſſerſtoffgas, wodurch das Waſſer aus dem Raume bei I verdrängt und in die Röhre E hinaufgetrieben wird, bis endlich das Zink oberhalb der Säure iſt und die Entwickelung aufhört. Oeffnet man den Hahn K, ſo ſtrömt etwas Waſſerſtoffgas bei L aus, die Flüſſigkeit erreicht das Zink aufs neue und bringt eine neue Gasentwickelung hervor. In dem unteren Kaſten befindet ſich die Harzplatte des Electrophors, deſſen Deckel hbt in ſeiner Mitte b mit dem ſtarken Glasſtreifen a verbunden iſt, der ſich an ſeinem Ende q um ein Gewinde dreht, ſo daß das Anziehen des Fadens efgh den Deckel nicht in geneigter Richtung, ſondern in horizontaler Stellung hebt. Dieſes Heben wird durch die Drehung des Hahnes K vermittelſt des Glasſtreifens op bewirkt, und da der Deckel und ſein Hebungsdraht bei op und baq durch Glas iſolirt iſt, und auch der Draht eh bei g durch eine Glasröhre geht, ſo behält der gehobene Teller ſeine Electricität, bis das Ende p des Metalldrahtes, gegen L geführt, dort den das Waſſerſtoffgas zündenden Funken giebt. Damit Teller und Form ſich in leitende Verbindung ſetzen, iſt ein Metallſtreifen angebracht, den der auf die Harzfläche geſetzte Teller hbt berührt. Die Electricität der Harzplatte braucht nur ſelten neu hervorgebracht zu werden; um dieſes zu thun, muß man die Harzplatte aus dem Kaſten A herausnehmen und ſie reiben; iſt dieß aber einmal geſchehen, ſo erhält ſich, wenn das Inſtrument an einem trockenen Orte ſteht, die Electricität Monate lang und der Funke geht bei der Berührung des Drahtes p an L mit immer gleicher Regelmäßigkeit hervor.

Fünfundſechzigſte Vorleſung.

So merkwürdig alle bisher angegebenen Wirkungen der Electricität ſind, ſo ſind ſie es doch nicht eigentlich, die das Auge aller Menſchen zu ihr hinzogen, ſondern den mächtigen, zum Theil Furcht erregenden Wirkungen, welche ſie hervorbringt, verdankt ſie es weit mehr, daß man ihr eine allgemeine Aufmerkſamkeit zuwandte. Der electriſche Funke, den man zuerſt in kaum ſichtbarer Größe hervorlockte, der bei verbeſſerten Hülfsmitteln allmälig merklicher hervortrat, der bei der Erfindung der electriſchen Flaſche in einer ſo gar gefährlichen Stärke erſchien und deſſen Wirkungen wir immer mehr zu ſteigern Mittel gefunden haben, iſt es vor allem, wodurch die Electricität als eine der wundervollſten Kräfte berühmt geworden iſt.

Hiebei ſind es nun zuerſt die Lichtentwickelungen, die unſre Aufmerkſamkeit erregen.

Der electriſche Funke.

Das electriſche Licht zeigt ſich unter zwei Hauptformen, nämlich als eigentlicher Funke überſchlagend auf einen nahen Leiter, und als ausſtrahlendes Licht, wo kein naher Leiter Veranlaſſung zu einem Funken giebt; beide Erſcheinungen gehen aber in einander über. Wenn man eine Spitze an einem Leiter anbringt und dieſen mit poſitiver Electricität ladet, ſo zeigt ſich ein ausſtrömender Leitbüſchel, der ſeine Strahlen nach allen Seiten ausſendet, ſich aber, wenn ein Leiter genähert wird, gegen dieſen zu wendet. Ein negativ geladener Leiter zeigt zwar an der Spitze ein Leuchten, ein Sternchen, aber nur ein ſehr ſchwach ſichtbares Ausſtrömen nach den Seiten. Eben dieſe Erſcheinungen finden bei ſtärkeren Ladungen auch da ſtatt, wo der Leiter ſich nicht in Spitzen endigt, an den Theilen, welche als Kugeln von kleinerem Durchmeſſer oder überhaupt als ſtark gekrümmt hervortreten.

Nähert ſich ein leitender Körper dem geladenen Leiter, ſo wiſſen Sie, daß wir in jedem Falle zwei entgegengeſetzt electriſirte Körper einander gegenüber haben, da der dem geladenen Leiter genäherte leitende Körper an ſeinem zugekehrten Ende in deſto höherem Grade die entgegengeſetzte Electricität annimmt, je ſtärker jene Ladung iſt. Hier alſo werden beide Electricitäten mächtig gegen einander gezogen und durchbrechen endlich, in entgegengeſetzten Richtungen übergehend, die Luft. Wenn man ſtarke Maſchinen anwendet und ihre Funken im Dunkeln beobachtet, ſo ſieht man bei Annäherung eines abgerundeten Leiters gegen eine nicht zu kleine Kugel an dem geladenen poſitiven Leiter, daß von der poſitiven Seite her ein Licht auszugehen anfängt, welches ſich zum Bläulichen hinneigt, daß dieſes Licht bei langſamer Annäherung des andern Leiters zunimmt, daß bei einer hinreichenden Nähe ein weißer Lichtſchein, weniger ſtrahlend, ſondern eine gleichförmige gerundete Form zeigend, aus dem negativen Körper hervorbricht, und daß dann auch faſt ſogleich der Funke überſchlägt, wobei jene beiden Erſcheinungen ihre Beſtimmtheit verlieren. Dieſe Erſcheinung habe ich oft wahrgenommen, aber ſie ſcheint bei dem Uebergehen des Funkens von einer Menge einzelner Umſtände abzuhängen, und die Beſchreibungen, die man von den Lichterſcheinungen giebt, bieten mannigfaltige Verſchiedenheiten dar.

Die Frage, ob nur ein Funke und ob dieſer von dem poſitiv geladenen Körper ausgehe, iſt noch immer nicht entſchieden. Läßt man kurze Funken überſchlagen, ſo durchlaufen ſie ihren Weg ſo ſchnell, daß man faſt den ganzen Weg auf einmal leuchtend ſieht und bald geneigter iſt, die eine Richtung, bald die andre, als die vom Funken befolgte anzugeben; oft ſieht man auch bei geringen Abſtänden einen weißen Glanz an beiden Leitern und zwiſchen dieſen beiden hellen Funken den ganzen Weg mit violettem Lichte leuchtend. Bei weitern Entfernungen ſcheint mir Hildebrandt's Behauptung, daß der poſitive Funke den größten Theil des Weges durchlaufe, aber nahe am negativen Körper ein von dort ausgehender Funke ihm entgegen komme, aus den

eben vorhin angegebenen Erſcheinungen des entgegenkommenden ausgebreiteten, aber matten Lichtes wahrſcheinlich; ich kann aber nicht behaupten, daß ich dieſen zweiten Funken je deutlich wahrgenommen hätte; dagegen aber iſt es oft deutlich, daß der vom poſitiven Leiter überſchlagende Funke erſt in bedeutender Ferne von dieſem am leuchtendſten hervortritt. In andern Fällen kann man dagegen den Hauptfunken als deutlich vom poſitiven Leiter ausgehend erkennen, und van Marum hat dieſes bei ſeiner großen Maſchine, die 24 Zoll lange Funken gab, ſo wahrgenommen, daß man das Entſtehen eines einzigen, im Fortgange ſich in Zweige zerſpaltenden Funkens von der poſitiven Seite her als gewiß anſehen möchte; aber Biſchoff und auch Pfaff haben bei negativer Ladung den Funken eine ſehr ähnliche, vom negativen Leiter ausgehende Form darſtellen ſehen, ſo daß alſo van Marum's Erfahrung, daß auch da, wo der geladene Leiter negativ iſt, der Stamm des ſich veräſtelnden Funkens vom poſitiven Körper ausgehe, nicht allgemein richtig ſeyn kann, ſondern dabei etwas auf noch unbekannte Umſtände ankommen muß. Die Vertheidiger der Franklin'ſchen Theorie fanden in jener Richtung des Funkens, der immer deutlich vom poſitiven Körper ausgehen ſollte, einen Grund für die Behauptung, daß die Glaselectricität die wahrhaft poſitive ſey; aber die Erfahrungen ſind nicht deutlich genug entſcheidend, um dieſe Behauptung für ſicher zu halten, und eher ſcheinen mir die oben erwähnten Erſcheinungen auf zwei gleichzeitige, ſich als verſchieden zeigende Wirkungen hinzudeuten.

Bei größeren Schlagweiten befolgt der Funke nicht genau die gerade Linie, ſondern macht Krümmungen oder Winkel in ſeiner Bahn, vermuthlich weil er bei ſeiner ſchnellen Bewegung die Luft zuſammendrückt und, wenn dieſe Compreſſion zu bedeutend wird, ſeitwärts gedrängt wird.

Auch die Farbe des Funkens iſt ungleich, indem ſich mit dem weißen Lichte bald mehr ein violettes, bald mehr ein röthliches, bald ein dunkelblaues Licht verbindet. Pfaff's Bemerkung, daß der vom poſitiv geladenen Leiter hervorgehende Funke in der größern und erſten Hälfte ſeiner Bahn mehr röthlich violett, im letzten Theile der Bahn mehr blau ſey, ſcheint mir den meiſten Erfahrungen entſprechend; aber auch hier zeigen ſich viele Ungleichheiten, unter denen mir die, daß bei minder trockener Luft die Funken mehr dunkelblau ſind, ziemlich conſtant ſcheint. Auch die Materie der Körper, aus welchen der Funke hervorgeht, hat Einfluß auf die Farbe, und es iſt dieß um ſo weniger zu verwundern, da die Verſuche mit der voltaiſchen Säule im Verbrennen der Metallblättchen die beſtimmte Abhängigkeit der Farbe des Funkens von der Materie, die beim Uebergange getroffen wird, zeigen.

Der Funke der Flaſchen iſt kürzer, als der des bloßen Leiters, weil die von den Belegungen abwärts, gegen den Knopf der Flaſche hin, wirkende Kraft der Electricitäi ſo ſehr gering iſt; aber er iſt zugleich viel glänzender, wie es der großen Menge electriſcher Materie angemeſſen iſt, die hier in einem Augenblicke übergeht. Bei ſtarken Schlägen nähert ſich dieſes, dann überaus

glänzende Licht ſehr dem Weiß, bei kleinen Flaſchen iſt der Funke zuweilen violett, zuweilen kupferfarben.

Da an jeder Unterbrechung der Leitung ein Funke überſchlägt, ſo hat dieß zu mancherlei unterhaltenden Anwendungen, wo die überſchlagenden Funken beſtimmte Figuren, Buchſtaben u. ſ. w. bilden, Gelegenheit gegeben. Durch dieſes faſt zahlloſe Ueberſchlagen von Funken kann man im dunkeln Raume eine ziemlich erhebliche Erhellung hervorbringen.

Electriſches Licht im luftleeren Raume.

Wenn man die Luft verdünnt, ſo hört die Iſolirung, welche die Luft gewährte, auf und die Electricität ſtrömt von dem geladenen Leiter leichter nach allen Seiten aus. Schon Hawksbee hat 1709 über dieſen Gegenſtand viele Verſuche angeſtellt. Er brachte einen luftleeren Glascylinder in einen zweiten mit Luft gefüllten, und ſah nun in jenem Lufterſcheinungen, während der äußere gerieben wurde; bei jeder Aenderung der gegenſeitigen Lage beider Cylinder zeigten und erneuerten ſich die leuchtenden Erſcheinungen. Dieſe ſind Folge der Vertheilung der Electricität, indem, wenn in A (XIII. Fig. 21) poſitive Electricität erregt wird, die im Glaſe bei B enthaltene poſitive abgeſtoßen wird und ſich nach entfernten Punkten hin begiebt, welches im luftleeren Raume ſich durch Lichtſtröme kenntlich macht. Wenn die Reibung aufgehört hat und beide Cylinder ihre Lage gegen einander behalten, ſo ſtellt ſich das Gleichgewicht, ein Ruheſtand der electriſchen Materien, her, wobei ſie jedoch ungleich ausgetheilt ſeyn können, ſobald noch irgendwo eine Ladung übrig bleibt. Nähert ſich nun gegen A ein andrer leitender Körper C, ſo ändert ſich die Austheilung der electriſchen Materie, weil die in dem Leiter C durch Vertheilung ſich anhäufende, von der poſitiv-electriſchen Materie in A angezogene, negative Electricität durch ihre entgegengeſetzte Wirkung einem Theile der von B weg getriebenen poſitiv-electriſchen Materie die Rückkehr geſtattet. Auf ähnliche Art erklären ſich alle von Hawksbee angeſtellten Verſuche und die ähnlichen, die man mit luftleeren Röhren anzuſtellen pflegt.

Eine der ſchönſten electriſchen Erſcheinungen ſtellt ſich dar, wenn man in einem luftleeren Cylinder A B (Fig. 22), durch deſſen obere Grundfläche A D ein metalliſcher Leiter E F in den luftleeren Raum hinabreicht, die Electricität überſtrömen läßt. Iſt B G, wie gewöhnlich, ein metallener Teller, auf welchem der Cylinder ruht, und läßt man von oben poſitive Electricität einſtrömen, ſo bewirkt dieſe in ihrem Uebergange auf die untere Ableitung einen zuweilen weißen, meiſtens aber ſchön violetten Lichtſtrom, der ſich, ſobald ein andrer Leiter von außen dem Glaſe genähert wird, in Rückſicht ſeines Glanzes und ſeiner Richtung verändert, indem er den eben vorhin erwähnten Anziehungen folgt. Setzt man auch am untern Theile des Cylinders der obern Kugel eine Kugel H entgegen, ſo ſchießen Lichtſtröme in ſchneller Folge von der obern Kugel auf die untere, und nach Hildebrandt's Bemerkung ſcheint ein ſchwächerer Strahl aus der untern Kugel dem von oben kommenden zu begegnen.

Wurde die obere Kugel negativ electriſirt und blieb die untere in Verbindung mit der Erde, ſo erkannte Hildebrandt deutlich einen ſtärkern aus der untern Kugel kommenden und einen ſchwächern aus der obern kommenden Strahl, beide violett, die ſich begegneten.

Mehr oder minder deutlich gehen dieſe Erſcheinungen jedes Mal hervor, ſo oft man das Ausſtrömen der Electricität in einen luftleeren Raum ſtatt finden läßt. Die Farben des Lichtes im luftleeren Raume ſind ungleich, und dieſes hängt nach Davy's genauen Verſuchen von der Beſchaffenheit der Dämpfe ab, mit welchen die verdünnte Luft gefüllt iſt.

Davy bediente ſich zu dieſen Verſuchen einer gebogenen Glasröhre ABC (XIII. Fig. 23), die vermittelſt der bei C angeſchraubten Röhre mit einer Luftpumpe in Verbindung geſetzt ward. Die Glasröhre ward mit ausgekochtem Queckſilber gefüllt, ſo daß bei A nicht die geringſte Luftblaſe übrig blieb; dann ward die Luft bei C ausgepumpt, ſo daß durch das Sinken des Queckſilbers in der Röhre BA ein luftleerer Raum AD entſtand; die Röhre C wurde hierauf durch einen Hahn feſt verſchloſſen und von der Luftpumpe abgenommen. Indem man nun das Queckſilber in der Röhre BCD erhitzte, konnte man den Raum AD über dem Queckſilber mit Queckſilberdämpfen von größerer oder geringerer Dichtigkeit füllen, und da ein bei A eingeſchmelzter Draht erlaubte, die Electricität durch den Raum AD fließen zu laſſen, ſo konnte man die Lichterſcheinungen unter verſchiedenen Umſtänden beobachten. Bei jedem dem luftleeren Raume zugeführten Funken ſtrömte die Electricität durch dieſen über, und wenn das Glas zum Theil von außen belegt war, ſo nahm dieſe Belegung eine Ladung an. Das Licht der überſtrömenden Electricität war am lebhafteſten und von ſchöner grüner Farbe, wenn das Queckſilber ſehr erhitzt war, alſo die Dämpfe einen bedeutenden Grad von Dichtigkeit beſaßen; die Intenſität des Lichtes nahm ab, wenn die Wärme geringer ward, und bei einer Abkühlung bis 25° Cent. unter Null blieb kaum noch eine Spur von Licht, bei völliger Entfernung aller andern Erleuchtung, ſichtbar. Wenn man bei der Erſcheinung des grünen Lichtes etwas atmoſphäriſche Luft in den mit Queckſilberdämpfen erfüllten Raum gelangen ließ, ſo ward die Farbe des Lichtes, je mehr Luft man hinzuließ, deſto mehr bläulich, endlich blau oder purpurfarben. Ueber geſchmolzenem Zinn ſtatt des Queckſilbers zeigte ſich ein ſehr ſchwaches gelbes Licht; über erhitztem Oele ſtatt des Queckſilbers zeigte ſich das electriſche Licht roth, etwas in Purpur übergehend.

Die Farbe dieſes Lichtes hängt alſo von den dampfförmigen Materien ab, die ſich in dem luftleeren Raume befinden, und das Leuchten ſelbſt hört bei einer ſehr verminderten Dichtigkeit der Dämpfe und der Luft beinahe völlig auf. Nach Davy's Anſicht iſt es alſo vorzüglich eine durch die Natur der wägbaren Subſtanzen in dem von Luft entleerten Raume bewirkte Erſcheinung, die wir hier beobachten; doch ſcheint ihm der noch ſichtbare ſchwache Ueberreſt von Licht bei einem faſt unendlich dünnen Queckſilberdampfe in tiefer Temperatur nicht wohl hierdurch erklärlich zu ſeyn.

Bei ſehr großen Kältegraden wurde die Schnelligkeit der Entladung oder das Durchſtrömen durch den luftleeren Raum ſtark vermindert, ſo daß eine ſchwach geladene Flaſche alsdann durch die torricelliſche Leere hindurch nicht mehr mit Exploſion entladen werden konnte, ſondern ihre Electricität nur langſam verlor. Hiernach ſchienen alſo vorzüglich die den luftleeren Raum immer erfüllenden Dämpfe die Leitung der Electricität zu bewirken. Davy ſah zwei in jener torricelliſchen Leere angebrachte, an Metallfäden hängende Kügelchen ſich ebenſo abſtoßen, wie im luftvollen Raume. Dieſe, von andern Beobachtern bezweifelte, Erſcheinung ſcheint anzudeuten, daß die Mittheilung an die Dämpfe doch langſam genug geſchieht, um den electriſirten Leitern einen Theil ihrer Ladung zu laſſen. Gilbert wirft hiebei die Frage auf, ob nicht hierdurch Coulomb's, Poiſſon's und Biot's Behauptung, daß der Widerſtand der Luft die electriſche Ladung in den gewöhnlichen Fällen zuſammenhalte, aufgehoben werde, und allerdings müſſen wir in Beziehung auf dieſe Erſcheinungen wohl noch neue Belehrungen abwarten, um alles mit völliger Sicherheit zu überſehen.

Uebrigens erklären dieſe Verſuche die Verſchiedenheit des farbigen Lichtes, welches man in verſchloſſenen luftleeren Röhren bemerkt, indem die verſchiedenen, zufällig oder abſichtlich in die Röhren gebrachten Dämpfe gewiß dieſe Farben veranlaſſen.

Noch eine Erſcheinung der Electricität im luftleeren Raume iſt ſehr bekannt, nämlich die des leuchtenden Barometers. Wenn man das Queckſilber in der Barometerröhre den luftleeren Raum durchlaufen läßt, ſo bringt das Reiben deſſelben am Glaſe Electricität hervor, die man durch ein weißliches, nur im Dunkeln ſichtbares Licht wahrnimmt.

Wirkung der Electricität auf den Geruch.

Wenn eine nicht zu ſchwache Electriſirmaſchine eine Zeit lang durch Ueberſchlagen von Funken oder Ausſtrömen der Electricität in die Luft wirkſam geweſen iſt, ſo bemerkt man einen eigenthümlichen, phosphoriſchen Geruch, der ohne Zweifel Wirkung der Electricität iſt; doch wiſſen wir nicht, welchen Antheil die Metalle hieran haben, durch welche wir faſt immer die Ausſtrömungen der Electricität ſtatt finden laſſen.

Mittel, um ſtarke Wirkungen der Electricität hervorzubringen.

Um bei den bald zu erwähnenden ſtarken Wirkungen der Electricität nicht durch die Erzählung der Mittel unterbrochen zu werden, deren man ſich, um ſie zu bewirken, bedient hat, will ich hier einige Nachrichten theils von den Inſtrumenten, die hiezu brauchbar ſind, theils von der großen Electriſirmaſchine van Marum's einſchalten.

Bei den meiſten der folgenden Verſuche kömmt es darauf an, einen ſtarken Entladungsfunken auf beſtimmte Gegenſtände hin zu leiten, und dazu iſt, wenn nicht von allzu langen Drähten oder andern ſehr großen Gegenſtänden

die Rede iſt, Henley's allgemeiner Auslader vorzüglich bequem. Sein Zweck iſt, die beiden Kugeln A, B (XIII. Fig. 24) einander ſo zu nähern, daß ſie den Gegenſtand, welchen der Schlag treffen ſoll, zwiſchen ſich haben, und ſie dann vermittelſt der Leiter AC, BD mit den beiden Belegungen der Batterie in Verbindung zu ſetzen. Um dieſe Zwecke zu erreichen, ruhen jene Leiter auf Glasſäulen EF, GH und laſſen ſich theils durch ... und Herſchieben in den Faſſungen I, K in die gehörige Entfernung, t... ls durch Drehung bei I, K in alle willkürliche Lagen bringen. Man kann nun zwiſchen den Kugeln A, B einen Draht ausſpannen, oder auf das über L angebrachte Tiſchchen den Körper legen und mit ihm an beiden Seiten die Kugeln in Berührung bringen, oder man kann den Körper zwiſchen den beiden Platten des Tiſchchens feſtſchrauben. In den einen Ring C wird dann eine Kette, die von der äußern Belegung der Flaſchen herkömmt, befeſtigt, den andern Ring D bringt man in Verbindung mit der Kugel C (XIII. Fig. 15) oder der Kugel E (Fig. 16), damit beim Entladen der Batterie der Funke von A auf B (Fig. 24) übergehen müſſe.

Unter den Maſchinen, mit welchen die auffallendſten Erfolge hervorgebracht worden ſind, nimmt doch wohl immer noch die Electriſirmaſchine, deren van Marum ſich bediente, den erſten Platz ein, indem von den neueren Maſchinen, wenn ſie auch allein ſehr große Wirkung thaten, mir doch nicht bekannt iſt, daß ſie mit ſo ausgezeichnet großen Batterien in Verbindung geſetzt worden wären. Jene Maſchine iſt eine Scheibenmaſchine, mit zwei Scheiben von 65 Zoll (engl.) Durchmeſſer, die jede von zwei Reibzeugen gerieben werden. Dem Conductor dieſer Maſchine, welcher die poſitive Electricität des Glaſes aufnahm, ward ein zweiter Leiter, der am andern Ende eine Ableitung hatte, gegenübergeſtellt, und dieſer empfing bis zu 24 Zoll Entfernung die Funken. Dieſe Funken brachten ſo viel Electricität auf den zweiten Leiter hinüber, daß die Ableitung durch einen Kupferſtab von $^{5}/_{8}$ Zoll Durchmeſſer nicht hinreichend war, ſondern dieſer Kupferſtab, welcher die Electricität an die ſehr große Metallmaſſe eines Bleidaches mittheilte, Funken ſeitwärts auf benachbarte Körper gab, ſo oft der zweite Leiter einen Funken empfing. Der ſonſt nur aus Spitzen oder kleineren Kugeln ausſtrömende Lichtbüſchel ging bei dieſer Maſchine aus einer 4zolligen Kugel hervor und breitete ſich in der Luft bis 15 Zoll weit aus. Der Funke aus dem Hauptleiter allein ſchmelzt 20 Zoll lange Goldblättchen. Bei der großen Stärke der erregten Electricität hemmten ſelbſt 12 Fuß lange ſeidene Schnüre und 5 Fuß hohe Glasſäulen nicht ganz die Ableitung, und es wurde durch Anbringung jener ſeidenen Schnüre, denen man doch keine Ableitung hätte zutrauen ſollen, die Weite des Funkenſchlagens ſehr abgekürzt. — Für die Ladung mit negativer Electricität am Reibzeuge war die Maſchine weniger vortheilhaft eingerichtet. Zu dieſer Maſchine beſaß van Marum anfangs eine Batterie von 135 Quadratfuß Belegung, ſpätrr eine von 225 Quadratfuß, zuletzt eine aus 100 Flaſchen beſtehende von 550 Quadratfuß Belegung. Dieſe größte Batterie ward von der immer mehr

verbeſſerten Maſchine durch 100 Umdrehungen der Scheiben ſo vollſtändig geladen, daß ſie ſich über den 4 Zoll breiten unbelegten Rand der Flaſchen ſelbſt entlud, wobei die Flaſche, welche ſich entlud, durchbohrt ward; um dieſen Nachtheil zu vermeiden, mußten ſo ſtarke Ladungen nachher vermieden werden.

Entzündungen durch den electriſchen Funken. Schmelzung und Verbrennung von Metalldrähten u. ſ. w.

Schon der Funke aus dem Leiter einer ganz gewöhnlichen Maſchine zündet Weingeiſt, zumal wenn dieſer etwas erwärmt iſt. Es ſetzte die frühern Beobachter in Erſtaunen, daß ſelbſt der Funke, der aus dem menſchlichen Körper hervorgeht, wenn ein Menſch ſich iſolirt electriſiren läßt, zündend wirken konnte. Sehr leicht entzündet ſich auch eine Kohle, auf die man einige wenige Tropfen Aether gebracht hat. Noch leichter entzündet ſich die Knallluft, und ſelbſt eine, nicht ſtreng in den richtigen Verhältniſſen genommene und mit Stickgas verunreinigte Miſchung aus atmoſphäriſcher Luft und Waſſerſtoffgas entzündet ſich durch den einfachen electriſchen Funken. Man bringt dieſe Miſchung in eine hinreichend ſtarke Röhre (XIII. Fig. 25), die dann bei A mit einem Kork verſchloſſen wird; in dem Innern dieſer Röhre ſtehen ſich die beiden Kugeln D der Metalldrähte CD, ED einander gegenüber, damit hier der Funke der Maſchine überſchlage, wenn man an E eine Ableitung anbringt und jenen auf C ſchlagen läßt. Die Metalldrähte ſind vermittelſt einer ſie umgebenden Glasröhre iſolirt, damit der Funke durch ſie allein überſchlage. Dieſer entzündet die Knallluft und dabei wird der Kork herausgeworfen. (Hierauf beruhn die electriſche Piſtole und der electriſche Mörſer.)

Mit der electriſchen Flaſche laſſen ſich mehrere Zündungsverſuche anſtellen, indem Harz auf Baumwolle geſtreut durch dieſen Funken entzündet wird, ein eben ausgeblaſenes, noch rauchendes Wachslicht wieder angezündet wird u. ſ. w.

Einige Zündungsverſuche fordern beſondre Vorkehrungen. So leicht das Schießpulver ſich entzündet, ſo erfolgt dieſe Entzündung doch nicht, wenn man den Schlag, ſelbſt den einer ſtarken Flaſche, durch die gewöhnliche Entladung vermittelſt metallener Leiter durch daſſelbe gehen läßt, ſondern es wird dann nur herumgeworfen. Läßt man dagegen die Leitung durch eine feuchte hanfene Schnur gehen, ſo entzündet ſich das Schießpulver durch eben denſelben Schlag gewiß. Der weniger ſchnelle, obgleich immer noch als momentan erſcheinende Durchgang des electriſchen Funkens, der bei der ſchlechten Leitung des feuchten Körpers mehr Widerſtand findet, muß wohl hier nöthig ſeyn, um dem Entzünden des Schießpulvers Zeit zu laſſen, während die noch mehr in einem einzigen Stoß vereinigte Wirkung der vollkommen guten Leitung zu ſchnell vorübergehend war. Statt der befeuchteten Schnur kann man auch eine Röhre mit Waſſer als Theil der Leitung anbringen, und Leuthwaite bemerkt, daß eine Flaſche von 1 Quadratfuß Belegung zu dem Verſuche hinreiche, daß er

aber nicht gelinge, wenn man die Röhre mit Schwefelſäure, als einem beſſern Leiter, füllt.

Wenn man zwiſchen den Kugeln des Henley'ſchen Ausladers einen dünnen Metalldraht ausſpannt und durch dieſen den Funken einer Batterie von 20 bis 30 Quadratfuß Belegung gehen läßt, ſo erhitzt ſich der Draht, weil er zu dünn iſt, um dieſe große Menge electriſcher Materie mit Leichtigkeit durchzuleiten. Harris hat den Grad dieſer Erhitzung mit einer Art von Luftthermometer unterſucht, indem er (Fig. 26) den dünnen Draht AB durch eine mit Luft gefüllte Kugel gehen ließ und die Ausdehnung der Luft an dem Zurückdrängen des Queckſilbers in der Röhre CD beobachtete. Nahm man gleich dicke Drähte aus verſchiedenen Metallen, ſo betrug die Ausdehnung der Luft für Silber und Kupfer nur 6 Theile, für Gold 9, für Zink 18, für Platin und Eiſen 30, für Zinn 36, für Blei 72; offenbar wurden die ſchlechter leitenden Metalle ſtärker erhitzt.

Dieſe Erhitzung geht nun bei dünnen Drähten und ſtarken Batterien ſo weit, daß die Drähte ſchmelzen und die geſchmolzenen Tropfen glühend umhergeworfen werden. Dieſe Schmelzung gelingt bei deſto größern Längen, je ſtärker die Batterie iſt, und van Marum konnte mit ſeiner Batterie von 225 Quadratfuß Belegung 25 Fuß Eiſendraht $1/7$ Linie dick und 40 Fuß Eiſendraht $1/20$ Linie dick ſchmelzen. Van Marum ſchließt aus ſeinen Verſuchen, daß bei gleicher Dicke des Drahtes die Länge, die man ſchmelzen kann, ſehr genau der Größe der belegten Fläche proportional iſt. Aber die Schmelzung erfolgt hier nicht bei denjenigen Metallen am leichteſten, die im Feuer am leichteſten ſchmelzbar ſind, ſondern bei denen am ſchwerſten, welche die beſten Leiter der Electricität ſind. Nach den eben vorhin angeführten Verſuchen iſt dieß auch nicht unerwartet. Von Drähten, die alle $3/8$ Linie Durchmeſſer hatten, wurden 120 Zoll geſchmolzen, wenn ſie aus den leicht ſchmelzbaren und zugleich ſchlechter leitenden Metallen, Zinn und Blei, beſtanden, von dem ſchwer ſchmelzbaren Eiſen wurden 5 Zoll, von den viel leichter ſchmelzbaren, aber beſſer leitenden Metallen Silber und Kupfer kaum $1/4$ Zoll geſchmolzen. Van Marum zeigte die beſſere Leitung des Kupfers in Vergleichung gegen das Eiſen noch durch einen andern Verſuch. Es wurde ein Eiſendraht von $1/20$ Linie und parallel mit demſelben ein ebenſo langer Eiſendraht von $2/9$ Linie Durchmeſſer aufgeſpannt, ſo daß der Entladungsſchlag durch beide ſeinen Weg nahm; dann wurden 6 Zoll des dünnen Eiſendrahtes geſchmolzen. Nahm er dagegen einen ebenſo langen und dünnen Eiſendraht, wie vorhin, und daneben einen $2/9$ Linie dicken und ebenſo langen Kupferdraht, ſo blieb jener ganz ungeſchmolzen, weil der Kupferdraht Leitung genug darbot, um alle Electricität durch beide Drähte abzuleiten.

Iſt der Metalldraht fein, ſo wird er oft nicht bloß geſchmolzen, ſondern er verbrennt und ſteigt als Rauch auf, das iſt, er wird in Oxyd verwandelt. Sammelt man den aus dem Rauche niederfallenden Staub, ſo findet man, daß dieſer aus Metalloxyd beſteht. Van Marum hat die Erſcheinungen dieſes

Oxydirens bei vielen Metalldrähten, die er nahe über weißem Papiere ausſpannte und dann dem heftigen Schlage ausſetzte, beobachtet; der nach der Entladung auf dem Papiere gelagerte Staub iſt bei jedem Metalle von einer andern Farbe, ſo wie es den Oxyden angemeſſen iſt. Van Marum hat ſich überzeugt, daß im Stickgas-dieſe Oxydation nicht ſtatt findet. Auch bei kleinern Batterien gelingt der Verſuch, Eiſendraht, wenn er recht ſehr fein iſt, zu verbrennen. Noch beſſer aber zeigt ſich das entſtandene Oxyd, wenn man einen ſchmalen Streifen ächtes Blattgold zwiſchen zwei Glasplatten legt, dieſe zwiſchen die beiden Platten des Tiſchchens L auf dem Auslader (XIII. Fig. 24) feſt ſchraubt und die Kugeln A, B an beide Enden des Streifens anlegt; der durch dieſes Blättchen gehende Schlag verwandelt den größten Theil deſſelben in ein feſt in das Glas eingebranntes Goldoxyd. Auch die entgegengeſetzte Erſcheinung, nämlich die Herſtellung der Metalle aus ihren Oxyden, hat van Marum durch die Electricität bewirkt.

Verſuche, welche die mechaniſche Gewalt des Funkens zeigen.

Schon mit einer einzigen Flaſche gelingt es, den Funken durch ſtarke Pappe oder ein Buch Papier ſchlagen zu laſſen. Das Loch, welches er hervorbringt, iſt nach beiden Seiten mit einem aufgeworfenen Rande umgeben, übrigens immer nur ſehr klein. Legt man ein Goldblatt zwiſchen die Blätter des Papieres, ſo entſteht da, wo dieſes getroffen iſt, ein Purpurfleck auf dem Papiere. Iſt der Schlag ſtark genug, ſo ſchlägt er auch durch ein dickes Packet Spielkarten, und bildet nur ein in einerlei Richtung fortgehendes Loch, wenn auch die Kugeln des Ausladers einander nicht gerade gegenüber, ſondern ſo wie A, B (Fig. 27) ſtehen. Befindet ſich aber zwiſchen den Karten ein Metallſtreif CD, ſo findet man dieſen an zwei Stellen durchbohrt, und die Electricität muß den in der Figur bezeichneten Weg genommen haben. Man hat dieß als einen ganz beſtimmten Beweis für das Daſeyn zweier electriſchen Materien angenommen; aber es iſt gewiß, daß auch dieſer Verſuch ſich nach Franklins Theorie erklären läßt. So ſehr wir nämlich geneigt ſind, den Schlag als momentan anzuſehen, ſo dürfen wir doch nie vergeſſen, daß es in der That auf einander folgende Erſcheinungen ſind, die nur für unſre Beobachtung zu ſchnell auf einander folgen; wir müſſen daher bedenken, daß, wenn wirklich nur eine einzige electriſche Materie von A aus nach B übergeht, dieſes mit folgenden Umſtänden begleitet iſt. Ehe der Funke von A ausgeht, iſt der Metallſtreif bei C negativ, bei D poſitiv, weil die Karten als ſchlechtere Leiter dieſe Vertheilung nicht weſentlich ändern, und darum ſchlägt der Funke beinahe geradezu von A auf den Metallſtreifen; die electriſche Materie durchläuft nun den Metallſtreifen CD und erſt in dieſem Augenblicke tritt die volle Wirkung der negativen Electricität in B hervor, wodurch das zweite Ueberſchlagen bei B bewirkt wird. Es verſteht ſich, daß die Erklärung durch zwei electriſche Materien ebenſo leicht iſt. Den Umſtand, daß die Löcher nach beiden äußern

Seiten aufgeworfene Ränder haben, erklärt man durch die explodirende Gewalt, die mit dem Schlage verbunden iſt.

Ein Verſuch, der vorzüglich die Gewalt des electriſchen Funkens zeigt, iſt das Durchbohren oder Zerſprengen einer Glasplatte; aber dieſer Verſuch fordert ſchon eine ſtarke Batterie. Man ſtellt eine große Glasplatte auf dem Auslader auf, bringt die beiden Kugeln gerade einander gegenüber mit ihr in Berührung und entladet die Batterie. Hier ereignet es ſich nun oft, daß die Glasplatte zu dick iſt, und keine Entladung erfolgt, weil der Uebergang der Electricität durch die Glasplatte gehindert wird; aber noch öfter ſchlägt der Verſuch dadurch fehl, daß der Funke, wenn er auch mehrere Zolle auf der einen Seite und ebenſo mehrere Zolle zurück auf der andern Seite der Glasplatte durchlaufen muß, dennoch dieſen Weg um die Platte herum lieber wählt und die Entladung bewirkt, ohne das Glas zu zerſchlagen. Dem letzten Umſtande kann man dadurch vorbeugen, daß man den ganzen Rand des Glaſes an beiden Seiten mit einem Lackfirniß überzieht. Da wo der Funke über das Glas ſchlägt, bemerkt man, ſelbſt bei nur ſchwachen Funken, daß ſein Weg auf dem Glaſe durch eine Verletzung der Oberfläche bezeichnet iſt.

Einer der auffallendſten hieher gehörenden Verſuche iſt folgender von van Marum. In einen Cylinder von ſehr feſtem Buxbaumholze waren Metalldrähte in der Axe hineingedrückt, ſo daß ſie in ziemlicher Entfernung im Innern einander gegenüber ſtanden. Indem nun der Funke auf die Drähte und durch die Materie des Holzes ſchlug, ward der Cylinder geſpalten, obgleich er 4 Zoll hoch und 4 Zoll dick war, alſo 16 Quadratzoll Fläche aus einander geſprengt werden mußten, wozu nach van Marum's Berechnung eine Kraft von 9800 Pfund erforderlich war.

Einige andre Verſuche.

Unter den chemiſchen Wirkungen, welche der electriſche Funke hervorbringt und zu welchen auch die Oxydationen nebſt den von van Marum gleichfalls bewirkten Herſtellungen der Metalle aus ihren Oxyden gehören, will ich nur noch die Zerſetzung des Waſſers erwähnen. Um ſie mit geringern electriſchen Kräften hervorzubringen, hat Wollaſton folgendes Verfahren angegeben. Man läßt die feinſten Platindrähte, die man erhalten kann, in Glas einſchmelzen, feilt ſie dann an der einen Seite bis auf die Oberfläche des Glaſes ab und ſetzt zwei ſolche im Glaſe liegende Drahtſpitzen einander in einer mit Waſſer gefüllten Röhre gegenüber. Die wiederholten Schläge einer kleinen, ſich oft nach einander entladenden Flaſche verwandeln das Waſſer in Luft, die ſich als eine Miſchung von Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas zeigt. Der Verſuch gelingt ſo am leichteſten, weil die Wirkung ſich auf einen ſo kleinen Raum vereinigt.

Eine andre Wirkung des überſchlagenden electriſchen Funkens iſt die, daß die Oberflächen, über welche er fortgegangen iſt, auf einige Zeit leuchtend

werden. Nach Singer's Verſuchen findet dieß bei Kreide, Borax und manchen andern Körpern ſtatt. Pearſall hat beſonders über die Körper, welche durch Wärme phosphoreſcirend werden, Verſuche angeſtellt, und gefunden, daß dieſelben auch durch Electricität leuchtend werden, ferner daß die Körper, denen man durch heftiges Glühen ihre Eigenſchaft zu phosphoreſciren geraubt hatte, dieſe wieder erlangten, wenn man den electriſchen Funken über ſie ſchlagen ließ.

Daß bei der Entladung großer Batterien auf eine ſchön polirte Fläche von Stahl, Silber, Meſſing Flecke entſtehen, iſt ohne Zweifel eine Folge der Oxydirung der Metalle. Eben darauf ſcheinen auch die farbigen Kreiſe zu beruhen, die man erhalten hat, wenn man einer polirten Metallfläche gegenüber eine Spitze aufſtellte und die Entladung von der Spitze auf die Metallplatte gehen ließ.

Mancherlei andre Verſuche, z. B. daß Körper, die nicht vollkommen gut leiten, im Dunkeln ſich als durchſcheinend zeigen, während der electriſche Funke durch ſie geht, darf ich wohl unerwähnt laſſen.

An dieſe Wirkungen der Reibungselectricität mögen ſich, ehe ich zu den electriſchen Naturerſcheinungen übergehe, noch einige Bemerkungen über Mittel, um Electricität in ſchwachem Maaße zu erregen, anſchließen. Ich werde bei dieſen nur kurze Zeit verweilen, da die hier anzuführenden Erſcheinungen meiſtens vereinzelt daſtehen.

Electricität durch Druck hervorgebracht.

Schon Haüy hat bemerkt, daß der Kalkſpath ohne Reibung durch bloßen Druck mit der Hand poſitiv-electriſch wird und dieſe Electricität lange behält. Becquerel hat an mehrern weichen Körpern, zum Beiſpiel an Kork und Federharz, gefunden, daß ſie, an iſolirenden Stielen gehalten, gegen einander gedrückt und ſchnell getrennt, ſich electriſch zeigen. Kork gegen Federharz (Caoutchouk) gedrückt wird + E, und Federharz — E. Die Reihenfolge der Körper in Beziehung auf die hervorgehende Electricität ſcheint auch hier eine beſtimmte, aber von der bei der Reibungselectricität geltenden verſchieden zu ſeyn. Gleichartige Körper geben zwar auch beim Drucke keine Electricität, ward aber unter zwei Korkſtücken eines erwärmt, ſo gab beim Drucke beider gegen einander das erwärmte — E.

Becquerel ſtellt neben dieſe Verſuche andre, wo die Theile eines Körpers plötzlich getrennt werden. Wenn er an ein Glimmerblättchen zwei vollkommen iſolirende Stäbchen befeſtigte und das Glimmerblättchen zerriß, ſo zeigten die beiden Stücke entgegengeſetzte Electricitäten. Ebenſo fand ſchon Adams die beiden Stücke einer zerbrochenen Siegellackſtange zuweilen entgegengeſetzt electriſch, wenn man vorher das Siegellack von aller Electricität befreit hatte. Becquerel iſt geneigt, das Leuchten des Zuckers auch für electriſch zu halten; doch iſt es zweifelhaft, ob dieß richtig iſt.

Electricität, die beim Erhärten flüſſiger Körper, bei der Verdampfung, beim Verbrennen entſteht.

Läßt man geſchmolzenen Schwefel in gläſernen Gefäßen erkalten, ſo zeigt er herausgenommen negative Electricität; in metallenen Gefäßen erkaltend iſt er nach dem Herausnehmen poſitiv. Aehnliche Erſcheinungen beobachtet man an Wachs und an Chocolade. Es iſt nicht ganz ſicher, ob hieran die Reibung den wichtigſten Antheil habe, jedoch ſcheint die an der Chocolade zuweilen beobachtete Electricität ſtärker zu ſeyn, als man von der geringen Aenderung der Lage beim Erkalten oder vom Reiben beim Hervorheben erwarten ſollte. Noch weniger würde die von Grotthus gemachte Beobachtung, wenn ſie ſich beſtätigt, daß nämlich Waſſer, welches bei tiefer Temperatur in einem Glaſe ſehr ſchnell gefriert, poſitiv-electriſch iſt, ſich aus der Reibung des Eiſes am Glaſe erklären laſſen, da dieſe Reibung ſonſt das Eis negativ macht.

Daß die Aenderung des Aggregatzuſtandes eine kenntliche Electricität hervorrufe, hat man ſeit Volta's Zeit in Beziehung auf die Entſtehung der Dämpfe als entſchieden angenommen, und auch von Grotthus hat es beſtätigt gefunden, daß ſchnell verdampfendes Waſſer die Gefäße negativ zurückläßt, alſo der Dampf in poſitiv-electriſchem Zuſtande entweichen muß. Daß dieſer Verſuch ſo ſehr mit den Erſcheinungen der Electricität in der Atmoſphäre übereinſtimmt, habe ich bereits erwähnt, und ich bin daher noch immer geneigt, ihn als richtig anzuerkennen, obgleich Pouillet ſich überzeugt zu haben glaubt, daß jener Verſuch nur wegen Einmiſchung andrer Umſtände am Condenſator Electricität zeige. In der neueſten Zeit iſt man (zuerſt in England) auf die poſitive Electricität des aus Dampfkeſſeln, alſo unter Druck ausſtrömenden Waſſerdampfes aufmerkſam geworden, die unter gewiſſen Umſtänden oft ſo ſtark iſt, daß ſie Funken bis zu 4 Zoll Länge giebt, was manche Phyſiker auf die Vermuthung gebracht hat, daß die Electricität auch bei dem oft ſo räthſelhaften Springen der Dampfkeſſel wirkſam ſeyn möge. Zugleich iſt es hierbei gelungen, die negative Electricität des Dampfkeſſels direct nachzuweiſen. — Nach Pouillet's Meinung bringt die bloße Aenderung des Aggregatzuſtandes niemals Electricität hervor, wohl aber zeigt dieſe ſich, wenn beim Verdampfen eines aufgelöſten alcaliſchen Körpers oder eines Salzes ein Rückſtand nach der Verdampfung übrig bleibt; derſelbe bleibt nach Pouillet's Verſuchen poſitiv zurück, wenn er alcaliſch, negativ dagegen, wenn er ein Salz oder eine Säure iſt. Hiernach würden alſo die Ausdünſtungen des Meeres mit poſitiver Electricität beladen aufſteigen. Indem aber Pouillet hierdurch die Meinung widerlegt zu haben glaubt, daß die gewöhnliche Ausdünſtung die Electricität in der Atmoſphäre hervorbringe, glaubt er die Wirkſamkeit der Vegetation an deren Stelle ſetzen zu können. Er ließ Saamen in Verbindung mit der Condenſatorplatte keimen, und fand, daß, wenn der Keim die Erde hob und hervorbrach und wenn die Vegetation ſich in ſtärkerem Fortſchreiten entwickelte, bedeutende Spuren von Electricität hervorgingen.

Genügender als dieſe Verſuche ſind die von Pouillet über die Electricität bei der Verbrennung der Kohle angeſtellten. Schon Volta hatte 1782 angegeben, daß die Kohle beim Verbrennen negativ zurückbleibe, die entſtandene kohlenſaure Luft alſo poſitiv ſey; aber dieſer Verſuch hatte ſpäter nicht immer gleiche Erfolge gegeben. Pouillet findet den Grund des Mißlingens darin, daß man gewöhnlich Kohlen anwende, die an allen Seiten brennen, wodurch die Regelmäßigkeit verloren geht. Seine Vorſchrift, prismatiſche Kohlenſtücke aufrecht auf die Condenſatorplatte zu ſetzen und ſie nur an ihrem obern Theile brennen zu laſſen, wo dann die obere Condenſatorplatte gewiß negativ werde, habe ich bewährt gefunden. — Von der bei gewaltſamen chemiſchen Proceſſen, namentlich bei der Zerſetzung eines Körpers, entwickelten Electricität wird weiter unten die Rede ſeyn.

Entſtehung der Electricität durch Erwärmung.

Mehrere Mineralien zeigen bei ihrer Erwärmung electriſche Wirkungen, welche Brewſter mit dem Namen Thermoelectricität bezeichnet; gewöhnlicher aber verſteht man unter dieſem Ausdrucke electriſche Erſcheinungen andrer Art, die erſt weit ſpäter beſchrieben werden können, weshalb manche Phyſiker die ſogleich zu erwähnenden unter dem beſondern Namen Cryſtallelectricität zuſammenfaſſen. Als ein ausgezeichneter Körper wegen der in ihm durch Wärme erregbaren Electricität iſt ſchon vor der Mitte des vorigen Jahrhunderts der Turmalin bekannt geweſen. Dieſer harte Stein, den man zu den Edelſteinen rechnet, wird zwar auch durch Reibung electriſch, aber er beſitzt die Eigenſchaft, die er nur mit verhältnißmäßig wenigen Körpern gemein hat, außerdem noch durch Erhitzung Electricität anzunehmen, und zwar die poſitive am einen, die negative am andern Ende. Nach Hauy's und Biot's Angaben iſt derjenige Turmalin, deſſen prismatiſche Cryſtalle ſich am einen Ende dreiſeitig, am andern Ende ſechsſeitig zuſpitzen, zu dieſer Erlangung von Electricität am geſchickteſten, und eine Ungleichheit in der Cryſtallform beider Enden ſcheint,[1] wo nicht die Bedingung dieſer Electricitätserregung, doch wenigſtens eine öfter damit verbundene Eigenſchaft zu ſeyn (die heller gefärbten ſind daher mehr geeignet als die ſchwarzen). Die Turmaline, welche in bedeutendem Maaße electriſch werden, ſind ſelten; aber auch die dem Turmalin verwandten Schörle zeigen mehr oder minder bedeutende Spuren dieſer electriſchen Erſcheinungen, zu welchen man im Allgemeinen die langen und ſchmalen Cryſtallprismen weniger als die von größerm Querſchnitte geeignet findet.

Die wichtigſten Erſcheinungen am Turmalin ſind folgende. Wenn der Turmalin über 40° Cent. erhitzt wird (durch Eintauchen in kochendes Waſſer oder an einer Weingeiſtflamme), ſo zeigt ſich das eine Ende des Cryſtalls poſitiv, das andre negativ electriſch. Dieſer electriſche Zuſtand iſt indeß nicht merklich bei unverändert bleibender, wenn gleich hoher, Temperatur, ſondern

[1] Brewſter hat mehrere Körper, deren Cryſtalle nicht alle unſymmetriſch ſind, als hierher gehörig angegeben.

nur während dieſe zunimmt oder abnimmt, und das eine Ende iſt allemal beim Zunehmen, das andre beim Abnehmen der Wärme poſitiv-electriſch. Dieſer Gegenſatz, der für die zunehmende Wärme und für die Abkühlung ſtatt findet, iſt ſchon 1759 von Canton bemerkt, neuerlich aber von Becquerel und Köhler näher unterſucht worden, und der letztere giebt auch mit genauer Beſchreibung der von ihm angewandten Cryſtalle an, welcher Theil des Cryſtalles der beim Erkalten, welcher der beim Erhitzen poſitive war. Die Electricität zeigt ſich ſtärker bei abnehmender, als bei zunehmender Wärme, und es giebt (was man auch bei ſchwächer wirkenden Exemplaren ſehr gut wahrnimmt) bei ſchon etwas verminderter Wärme eine Periode der Abkühlung, wo die Erſcheinungen am meiſten merklich ſind. Zerſchneidet man den Cryſtall in Schichten, die auf die Längenrichtung deſſelben ſenkrecht ſind, ſo haben alle Stücke unter den erwähnten Umſtänden immer ihre zwei Pole, und zwar iſt die Art der Electricität jeder Seite bei allen Stücken dieſelbe, die im ungetheilten Cryſtalle an eben der Seite gefunden wurde. Selbſt jeder Splitter des Turmalins zeigt dieſelben Eigenſchaften, indem er auf Glas liegend erhitzt ſich entweder (wie Brewſter angiebt) feſt an das Glas anhängt, oder doch deutliche Anziehung auf kleine Körper äußert.

Der Boracit, deſſen Cryſtallform der Würfel mit abgeſtumpften Ecken iſt, wird ebenfalls während der Zunahme ſowohl als während der Abnahme der Wärme electriſch, und auch bei ihm vertauſchen ſich die Pole, wenn ſtatt der Wärmezunahme die Abkühlung eintritt. Er hat vier electriſche Axen, die mit den vier Diagonalen des Würfels übereinſtimmen, und das eine Ende jeder ſolchen Axe iſt poſitiv, das andre negativ. Köhler bemerkt, daß immer am einen Ende jeder Axe eine glatte Octaederfläche die Abſtumpfung der Würfelecke macht und daß dieſe am andern Ende der Axe ganz fehlt oder doch rauh und unvollkommen iſt. Bei zunehmender Erwärmung iſt jene negativ, dieſe poſitiv, und das Entgegengeſetzte findet bei der Abkühlung ſtatt. Canton, Hauy und Andre haben auch an mehrern andern Cryſtallen, z. B. dem Braſilianiſchen Topas, Axinit u. ſ. w., ähnliche electriſche Erſcheinungen wahrgenommen, namentlich aber hat Brewſter in der neueſten Zeit das Verzeichniß derjenigen Cryſtalle, die durch Wärme electriſirbar ſind, ſehr bedeutend vermehrt.

Auch Glas nimmt durch Erwärmung leicht Electricität an, wie aus den Verſuchen von Matteucci und Muncke erhellt.

Sechsundſechzigſte Vorleſung.

Aehnlichkeit des Blitzes und des electriſchen Funkens.

Schon kurz nach den erſten Entdeckungen über das electriſche Licht dachte Wall an eine Uebereinſtimmung zwiſchen dem plötzlich hervorgehenden electriſchen Lichte und dem Blitze, ſowie zwiſchen dem geringen Laute, den man

bei dem electriſchen Funken hört, und dem Donner; indeß war dieſe Vergleichung damals und auch ſpäter noch zu oberflächlich, um weiteren Erfolg zu haben. Bei den ſich immerfort vermehrenden Erfahrungen über Wirkungen der Electricität, die den gewaltſamen Wirkungen des Blitzes ähnlich ſind, ward man immer näher auf jene Vergleichung hingeleitet; doch hat vor Franklin niemand dieſelbe vollſtändig durchgeführt, noch den Gedanken, mit der Gewitterelectricität electriſche Experimente anzuſtellen, ausgeſprochen. Die Schmelzungen durch den electriſchen Funken, die Entzündungen, die durch das heftige Ueberſchlagen des Funkens bewirkten Zerſtörungen gaben, ſo wie das plötzliche Entſtehen und Vorübergehen des electriſchen Lichtes, Veranlaſſung genug, um den Blitz als einen ſehr mächtig wirkenden electriſchen Funken anzuſehen. Aber Franklin fügte zu dieſen Aehnlichkeiten noch die wichtige Bemerkung hinzu, daß der einſchlagende Blitz, ebenſo wie der electriſche Funke, an guten Leitern ohne nachtheilige Wirkungen fortgeht, beim Ueberſchlagen von einem Leiter zum andern aber zerſtörende Wirkungen, Schmelzungen und zündende Funken hervorbringt. Dieſe Bemerkung iſt durch alle ſpätern Beobachtungen beſtätiget worden. Wenn der Blitz in ein Gebäude einſchlägt und dieſes nicht in Brand ſetzt, ſo kann man gewöhnlich die Spuren der von ihm bewirkten Zerſtörungen und dadurch den Weg, den er genommen hat, leicht verfolgen, und findet immer, daß er ein Beſtreben zeigt, nach Metallen überzuſchlagen und von dem Ende einer längern Metallleitung zu einer andern zu gelangen. Iſt dieſe Metallleitung zu ſchwach, ſo geht er auf mehrern Wegen fort und gelangt ſo zur Erde. Hat er zum Beiſpiel an den dünnen Metalldrähten, die in den Wänden den Kalküberzug feſthalten, nicht genug Leitung gefunden, oder hat eine Unterbrechung dieſes Drahtes ihn zum Ueberſchlagen genöthigt, ſo ſprengt er den über den Drähten liegenden Kalk ab; muß er durch Holz dringen, um eine Metallleitung wieder zu erreichen, ſo zertrümmert er dieſes auf eine oft wunderbar ſcheinende und von der größten Kraft zeugende Weiſe.

Indem nun Franklin die wichtige Eigenſchaft der electriſchen Materien, durch vollkommen leitende Körper ohne alle ſichtbare Zeichen durchzugehen, in Erwägung zog, ſo machte er den Schluß, daß auch der Blitz, wenn er einem guten Leiter von den höchſten Theilen des Gebäudes bis zur Erde folge, ohne zerſtörende Wirkungen die Erde erreichen werde. Um aber die Meinung, daß wirklich der Blitz nur ein großer electriſcher Funke ſey, völlig zu beſtätigen, wünſchte er durch einen hoch in die Luft aufgeſtiegenen Drachen Wirkungen der atmoſphäriſchen Electricität auf die Erde herabzuleiten und zu beobachten. Er ließ daher im Juni 1752 an einem Tage, wo Gewitter zu drohen ſchienen, einen Drachen ſteigen, an deſſen hanfener Schnur er zuerſt die gegenſeitige Abſtoßung einiger frei hängenden Fäden bemerkte, dann aber Funken aus einem daran gehängten Schlüſſel zog. Im folgenden Jahre hatte er auf ſeinem Hauſe eine Stange angebracht, um die Wirkungen der Gewitterelectricität näher zu prüfen, wo er ſich dann überzeugte, daß ſie bald mit der poſitiven,

bald mit der negativen Electricität übereinſtimmte. In den letztern Verſuchen waren ihm unterdeß ſchon Dalibart und Delor in Frankreich zuvorgekommen, welche, durch Franklin's Schriften veranlaßt, ſeinen Gedanken von der Herableitung des Blitzes ſchon im Mai 1752 durch einen Verſuch beſtätigt fanden. Dalibart nämlich hatte eine iſolirte eiſerne Stange auf ſeinem Hauſe errichtet, und aus dieſer ſchlugen bei Annäherung einer Gewitterwolke große Funken hervor. Die Verſuche mit dem Drachen wurden etwas ſpäter von de Romas wiederholt, der einen Drachen ungefähr 550 Fuß hoch ſteigen ließ. Er bediente ſich einer mit Metalldraht durchwirkten Schnur, die er an einer ſeidenen Schnur hielt, um die Wirkungen der Electricität nicht auf ſich ſelbſt herab zu ziehen; die leitende Schnur endigte ſich in einen Blechcylinder, welcher 3 Fuß von der Erde entfernt war und dennoch Strohhalme von der Erde anzog, endlich aber drei laut knallende Funken gegen die Erde gab. Dieſe Erfahrungen zeigen, daß man auf eine gefährliche Weiſe durch dieſe Mittel die Gewitterelectricität auf die Erde herabziehen könne, ſelbſt wenn kein eigentlicher Blitz auf die Leitung trifft.

Man hat in der Folge oft Metallſtangen iſolirt auf Gebäuden aufgerichtet, um an ihren untern Enden Beobachtungen über die Electricität der Atmoſphäre anzuſtellen, und wenn ſich in gehöriger Nähe unter dieſer Leitung eine bis zur Erde gehende Ableitung befindet, auf welche bei zu ſtarkem Andrange der atmoſphäriſchen Electricität dieſe ohne Nachtheil überſchlagen kann, ſo kann man dieſe Einrichtung als ganz ungefährlich anſehen. Franklin hatte, um von dem zu irgend einer Zeit eintretenden ſtärkern Grade der Electricität unterrichtet zu werden, mit dieſer Stange ein Glockenſpiel verbunden, an welchem die Klöppel, angezogen von der oben ſtehenden Auffangſtange und dann zurückgeſtoßen zu den mit der Ableitungsſtange in Verbindung ſtehenden Glocken, die ſtärkeren Grade der Electricität in der Luft anzeigten. Daß man bei dieſen unterbrochenen Metallleitungen in Gefahr kommen kann, wenn man den eignen Körper ihnen zu ſehr nähert, iſt offenbar, indeß darf man nicht gerade das ſo oft angeführte Schickſal Richmann's, welcher am 6. Aug. 1753 an einer ſolchen Vorrichtung getödtet wurde, als ſo ſehr abſchreckend anſehen, da ſich bei ihm der immer höchſt ſeltne Fall ereignete, daß ein ſtarker Blitz jene Stange gerade in dem Augenblicke traf, als er ſich ihr mit dem Kopfe zu ſehr näherte; bei gehöriger Vorſicht würde man ſelbſt während eines Gewitters Beobachtungen an einer ſolchen unterbrochenen Leitung anſtellen können, wie es von Gersdorf oft gethan haben ſoll.

Blitzableiter. Vorſichtsregeln bei Gewittern.

Nach jenen, ſchon von Franklin in Betrachtung gezogenen, Erfahrungen konnte es keinen Zweifel leiden, daß ein Gebäude, an welchem ein guter Leiter herabgeht, in dem Falle, wo dieſer vom Blitze getroffen wird, keiner großen Gefahr ausgeſetzt ſey, und auf ſie gründete eben Franklin die Erfindung der Blitzableiter; aber man kann noch die Frage aufwerfen, ob denn gerade

dieſer Blitzableiter, dieſe Metallleitung ſelbſt, vom Blitze aufgeſucht werden wird? Wenn wir ein vom Blitze getroffenes Haus ſehen, wo der Blitz bald hier bald dort eine Reihe von Leitern aufgeſucht und, um den einen oder andern derſelben zu erreichen, dicke Wände durchbrochen, große Holzmaſſen zerriſſen und andre Zerſtörungen angerichtet hat, ſo ſcheint es uns beim erſten Anblicke ſeltſam, wie er dieſen Weg in ſeinem ungemein ſchnellen Laufe aufgefunden habe, und wir denken gewöhnlich nicht daran, daß dieſer Weg ſchon beim erſten Antreffen des Blitzes gewiß als nothwendig vorgezeichnet war. So ſchnell nämlich auch die ſämmtlichen Erſcheinungen von dem Hervorgehen des Blitzes aus der Wolke bis zu ſeinem letzten Uebergange in die Erde auf einander folgen, ſo ſind ſie doch in ihrem Fortgange nicht ſo ſchnell, daß nicht jede einzelne als eine Wirkung, aus welcher die folgende nothwendig entſpringt, hervorbringend angeſehen werden könnte. Schon während die Wolke den Blitz hervorzubringen im Begriff iſt, haben alle benachbarten Leiter ihren electriſchen Zuſtand verändert, und wenn ein poſitiv-electriſcher Schlag im Ausbrechen iſt, ſo ſind alle obern Enden der Leiter BA, CD, EF, GH (XIII. Fig. 28) im negativen, die untern Enden im poſitiven Zuſtande; die Nichtleiter dagegen oder die ſchlechten Leiter nehmen an dieſer Vertheilung der Electricität nur in geringem Grade Antheil. Da nun, wie Sie wiſſen, der poſitiv-electriſche Funke dahin ſchlägt, wo der negative Zuſtand am meiſten hervorgetreten iſt, ſo ſchlägt er auf den bei A negativen Leiter eher als auf die umgebenden Nichtleiter zu; indem er ſich nähert, wird A immer mehr und mehr in negativen Zuſtand, B in poſitiven Zuſtand verſetzt, und in ähnlichem Fortgange tritt auch in C, E, G die negative Electricität durch die Einwirkung des Blitzes ſowohl als der nahen poſitiven Theile B, D, F hervor; in dem Augenblicke, da AB vom Blitze durchlaufen und poſitiv geladen iſt, erreicht C den höchſten Grad des negativen Zuſtandes, und da dieſer in den umgebenden Nichtleitern nicht ſo eingetreten iſt, ſo ſchlägt der Blitz von B nach C über und bringt in auf einander folgenden Zeitmomenten eben die Wirkungen in EF, GH hervor. Hieraus erhellt nun, warum der ununterbrochene Blitzableiter vorzugsweiſe vom Blitze getroffen werden, warum er den benachbarten Körpern zu einem Schutze gegen den Blitz dienen wird; denn es iſt offenbar, daß in I die anziehende Kraft der negativen Electricität für den poſitiven Blitz viel größer als in A ſeyn muß, wenn IK ein ununterbrochener Leiter iſt, indem in A die in der Nähe gebliebene poſitive Ladung bei B der Anziehung entgegen wirkt. Aus dieſer Ueberlegung erhellt, daß der Blitz, wenn der Ableiter IK da iſt, auf dieſen ſchlagen und die unterbrochene Leitung nicht treffen wird. Bis zu welcher Entfernung dieſe Sicherung ſtatt findet, iſt auch in dem Falle, wo der Ableiter IK ganz vollkommen iſt, eine ſchwer zu beantwortende Frage, und einzelne Fälle beweiſen, daß unter ungünſtigen Umſtänden dieſe Entfernung nicht ſo ſehr groß iſt, vielleicht kaum 50 Fuß beträgt. In Hinſicht hierauf muß man da, wo man eine beſtimmte Sicherung hervorzubringen wünſcht, den Kreis der Wirkſamkeit des Blitzableiters nicht größer

vorausſetzen, obgleich es wohl gewiß iſt, daß in vielen Fällen der Blitz auch entferntere Gegenſtände vermeidet, um den vollkommenen Leiter zu treffen.

Was die Einrichtung des Blitzableiters betrifft, ſo erhellt von ſelbſt, daß er ein vollkommener und ununterbrochener Leiter ſeyn und von den höchſten Theilen des Gebäudes bis in die Erde gehen muß. Gewiß werden die höchſten Theile des Gebäudes in der Regel am meiſten in den entgegengeſetzt electriſchen Zuſtand verſetzt, weil ſie der Wolke und dem herabſchlagenden Blitze am nächſten ſind, und deshalb trifft der Blitz auch faſt immer die höchſten Spitzen; man läßt daher mit Recht den Blitzableiter ſich bis ziemlich hoch über den höchſten Theil des Gebäudes hinauf erſtrecken. Daß er aus ſtarken, wohl verbundenen Metallſtangen beſtehen muß, verſteht ſich von ſelbſt. Am beſten würden die vorzüglich gut leitenden Metalle, Silber und Kupfer, zu Blitzableitern paſſen, indeß iſt auch Eiſen, wenn man hinreichend ſtarke Stangen nimmt, vollkommen brauchbar, und ſelbſt Bleiſtreifen, obgleich ſie ſchlechter leiten und leichter ſchmelzbar ſind, gewähren Sicherheit, wobei van Marum die Beſtimmung giebt, daß man Bleiſtreifen von 4 Zoll Breite und etwa $^1/_6$ Zoll Dicke anwenden könne; ſicherer iſt es indeß, das Maaß der Streifen etwas größer zu wählen, und Eiſen iſt auf jeden Fall beſſer. Der Blitzableiter muß nicht zu nahe an andern lang ausgedehnten Metallmaſſen vorbeigehen, damit nicht etwa bei ſehr ſtarken Schlägen ein Theil des Blitzes auf dieſe überſpringe. Iſt der Ableiter ſtark genug, ſo ſollte eigentlich die ganze Leitung ohne ein ſichtbares Leuchten ſtatt finden; aber ſehr oft hat man den Ableiter leuchtend geſehen, und dennoch iſt der Blitz ohne Nachtheil daran herabgefahren, indeß iſt dieß doch immer ein Zeichen, daß der Blitzſtrahl zu ſtark für den Ableiter war. Der Ableiter muß bis in die Erde hinabgehen und zwar ſo tief, daß er feuchte, hinreichend leitende Erde antrifft. Dieſe Regel ſcheint mir nothwendig, indem, wenn man ihn an der Oberfläche der Erde ſich endigen läßt, vorzüglich bei trocknem Wetter, wo die Erde nur ſchlecht leitet, es ſich ereignen kann, daß der den Ableiter unten verlaſſende Funke ſeitwärts auf andre Gegenſtände überſchlägt.[1] Die Frage dagegen, ob man den obern Theil der Auffangſtange mit einer ſcharfen vergoldeten Spitze verſehen ſoll, ſcheint mir von geringerer Wichtigkeit. Die Meinung, welche bei der Erfindung der Blitzableiter viel Beifall fand, daß man durch Spitzen die Gewitterwolken ſtill und ohne Blitz entladen könne, iſt wohl als unrichtig hinreichend widerlegt, indem theils die Entladung eines ſo ungeheuer großen Leiters wie die Gewitterwolke durch eine oder einige Spitzen unmöglich ſcheint, theils die dort entſtehende Electricität ſich zu ſchnell entwickelt, um dieſer langſamen Ableitung Zeit zu laſſen; ob man aber hoffen kann, daß der ſchon im Herunterſchlagen begriffene Blitz durch eine Spitze irgend an Kraft verliere,

[1] Ueber dieſen Punkt ſind die Meinungen verſchieden. Mir ſcheint die mögliche Gefahr, die das Ueberſchlagen vom Ende des in die Tiefe geführten Leiters mit ſich bringen kann, wenn auch einmal die Erde ein wenig aufgewühlt wird, geringer, als die, daß der oberhalb der Erde endigende Ableiter zu einem ſeitlichen Ueberſchlagen an der Oberfläche der Erde Anlaß geben kann und da vielleicht die Füße von Menſchen getroffen werden könnten.

weiß ich nicht, wenn es gleich gegründet iſt, daß die am Ende des Ableiters geſammelte entgegengeſetzte Electricität in einigem Grade an der Spitze ausſtrömen muß. Nach dieſen und ähnlichen Ueberlegungen bin ich zwar geneigt, den vergoldeten Spitzen keinen ſonderlichen Werth beizulegen, aber es iſt auch etwas gewagt, ganz entſchieden ſich gegen den einmal eingeführten Gebrauch zu erklären.

Man hat aus manchen einzelnen Beiſpielen von Blitzen, die in der Nähe von Blitzableitern eingeſchlagen haben, Gründe hergenommen, um die nützliche Wirkung der Blitzableiter verdächtig zu machen; aber dieſes doch gewiß mit Unrecht. Es läßt ſich allerdings die ſchwer zu beantwortende Frage aufwerfen, ob der Blitz, welcher ziemlich nahe bei einem Blitzableiter eingeſchlagen hat, vielleicht nicht eingeſchlagen hätte, wenn der Blitzableiter nicht da war; aber es wird kaum möglich ſeyn, darüber je ein ſicheres Urtheil zu fällen, und nur das können wir mit Sicherheit annehmen, daß da, wo er einſchlug, eine vorzüglich gute Leitung, ſei es auch nur von uns unſichtbaren Dünſten oder Rauch, ſtatt fand, die alſo auch für ſich allein den Blitz anziehen konnte, ohne daß man dieſes Anlocken dem benachbarten Blitzableiter zuzuſchreiben braucht. Sollte aber auch unter zahlreichen Fällen der Fall möglich ſeyn, daß der beinahe horizontal fortgehende Blitz (und dieſer Fall wäre wohl am eheſten denkbar) zuerſt (XIII. Fig. 29) von AB, dem vollkommenen Ableiter, herbeigezogen, die Richtung GH nähme, dadurch aber ſo ſehr in die Nähe der ſchlechtern Ableitung CD, EF käme, daß er ſeine Bahn verließe und auf C ſchlüge, ſo iſt doch dieſer Fall ſo ſelten und ſo unwahrſcheinlich, daß mein Nachbar darauf ebenſo wenig eine Einwendung gegen meinen Entſchluß, einen Gewitterableiter auf mein Haus zu ſetzen, gründen kann, als er mir verwehren kann, mein Haus mit Ziegeln zu decken, deren einer ihn möglicher Weiſe im Herabfallen tödten kann, wenn er aus ſeiner Hausthür tritt.

Noch einen Einwurf gegen die Gewitterableiter hat man von den theils aus theoretiſchen Gründen vermutheten, theils auch beobachteten **Rückſchlägen** hergenommen. Es iſt nämlich allerdings richtig, daß nach dem Ueberſchlagen des Blitzes ſich die Electricität in den Körpern auf der Erde wieder ins Gleichgewicht ſetzen muß und daß dabei allenfalls wohl Funken hervorgehen können. Unter den mannigfaltigen Möglichkeiten, die man ſich denken kann, will ich nur eine hervorheben. Es befinde ſich (XIII. Fig. 30) ein durch ſchlechte Leiter unterbrochener Leiter AB, CD beinahe unter derſelben Einwirkung, wie der gute Leiter LM, ſo wird unter dem Einfluſſe einer poſitiv-electriſchen Wolke ſowohl von A als von L die poſitive Electricität zurückgedrängt, und da ſie mit großer Gewalt gegen B gedrängt wird, ſo kann ſie gar wohl auch durch den ſchlechten Leiter BC zum Theil nach CD hinüber gehen, ſo daß der ganze Leiter AB negativ iſt. Schlägt nun der Blitz auf LM, ſo iſt ſogleich nach dieſem Schlage das Gleichgewicht in der guten Leitung LM hergeſtellt, AB hingegen iſt im negativen Zuſtande und CD hat das Beſtreben, einen poſitiven Funken nach B zu ſenden, weil die ſchlechte Leitung CB keine hinreichend ſchnelle Zuführung der nach und nach zurückgedrängten poſitiven

Electricität geſtattet. Ginge ein ſolcher Funke wirklich von C nach B über, ſo wäre das ein wirklicher Rückſchlag, und man weiß Beiſpiele, wo ein plötzliches Leuchten einiger Leiter in Häuſern, die der Blitz traf, oder auch aus der Erde hervorgegangene Blitze auf ſolche Rückſchläge deuteten. Daß ſich hieran die Beſorgniß knüpfen kann, der von C nach B gehende Funke könne allenfalls zünden, iſt offenbar; aber es ſcheint mir doch, daß man dieſe Beſorgniß als ganz unbedeutend anſehen kann. Es ſcheint mir nämlich ganz gewiß, daß in eben dem Verhältniß, wie die Schwierigkeiten des Uebergangs der Electricität von B nach C größer ſind, auch die Menge der übergegangenen Electricität kleiner ſeyn wird, ſo daß da, wo das Zurückgehen von C nach B ſehr erſchwert iſt, auch kaum jemals ſo viele Electricität, als zu einem gefährlichen Funken nöthig iſt, hinüber gedrängt worden ſeyn kann, da hingegen, wo der Uebergang nicht ſo ſehr erſchwert iſt, auch das Zurücktreten mit ziemlicher Leichtigkeit, eben darum aber auch ohne Funken, geſchehen wird. Hierin ſcheint mir der Grund zu liegen, daß kein Fall bekannt iſt, wo dieſe Rückſchläge Unglück bewirkt hätten. Rückſchläge von der Erde gegen eine Wolke ſcheinen mir noch weniger gefährlich. Man braucht daher, glaube ich, auf ſie weiter keine Aufmerkſamkeit zu richten, da die Regel, ſo viel als möglich ſolche nur wenig unterbrochene Leiter in Gebäuden zu vermeiden, ſchon aus dem Grunde, damit der Blitz nicht zum Theil auf A, zum Theil auf L falle, als nothwendig angeſehen werden mußte.

Ueber die übrigen Sicherungsmittel gegen die Gefahren des Gewitters brauche ich nur wenig zu ſagen. Für ein durch Gewitterableiter nicht geſichertes Gebäude kann man bei einem herannahenden Gewitter wohl gar nichts weiter thun, als daß man alle Feuer auslöſcht, damit nicht der aus den Schornſteinen hervorgehende Rauch eine Blitzzuleitung bilde. Dieſe Vorſicht iſt ſehr zu empfehlen, da man viele Beiſpiele hat, wo der Blitz einen rauchenden Schornſtein ſelbſt dann getroffen hat, wenn höhere Gegenſtände in der Nähe waren. Dagegen ſcheint Zugluft, ein geöffnetes Fenſter zum Beiſpiel, keinen Einfluß auf den Weg des Blitzes zu haben, und das Schließen der Fenſter ſcheint mir in Beziehung auf den Blitz nicht nothwendig zu ſeyn. Was die Sicherung unſerer Perſon gegen den Blitz betrifft, ſo wird zwar ein ängſtliches Berechnen, wo wir etwa am geſichertſten ſeyn mögen, zuweilen bis zum Lächerlichen getrieben, indeß laſſen ſich doch folgende Regeln geben. Da der Blitz immer beim Einſchlagen die beſſeren Leiter vorzieht und den Erfahrungen zufolge der menſchliche Körper beſſer als trockenes Holz, trockene Wände, lebendige Bäume u. ſ. w. leitet, ſo muß man die Nähe dieſer Gegenſtände, ſofern ſie durch ihre Höhe den Blitz wohl heranziehen könnten, vermeiden. Hohe Bäume, vorzüglich wenn ſie einzeln ſtehen, werden nicht ſelten vom Blitze getroffen, der Blitz fährt an ihnen ſehr gern an der naſſen Oberfläche zwiſchen Rinde und Holz herunter und ſprengt dabei die Rinde ab; befindet ſich aber ein Menſch ganz in der Nähe, ſo ſpringt der Blitz ſehr oft vom Baume ab und tödtet den Menſchen, durch deſſen Körper er zur Erde hinabgeht. Etwas Aehnliches würde erfolgen,

wenn ein Menſch nahe an einer Wand ſtände, an welcher der Blitz herabfährt, und ſelbſt nahe an einem Blitzableiter kann die Heftigkeit der mitgetheilten Erſchütterung gefährlich werden, obgleich es auch Fälle giebt, wo Menſchen durch den neben ihnen, ja ſogar an ihren naſſen Kleidern herabfahrenden und ihre Kleider zerreißenden Blitz nicht weſentlich beſchädigt wurden. Iſt man daher auf freiem Felde, ſo iſt es beſſer, ſich an einem offenen Platze dem Regen auszuſetzen, als unter einzelnen hohen Gegenſtänden Schutz zu ſuchen. Dagegen iſt es angenehm, in einer Entfernung von 50 Fuß höhere Gegenſtände neben ſich zu haben, die wahrſcheinlich eher als der nicht ſo hoch ſtehende Menſch den Blitz anlocken können. Auch in Gebäuden iſt es beſſer, ſich nicht in der Nähe der äußern Wände oder metalliſchen Leitungen, die unterbrochen ſind, aufzuhalten; indeß hat man weit mehr Urſache, ſich hier vor lächerlicher Aengſtlichkeit zu hüten, als ſich in eine Berechnung der Wahrſcheinlichkeit, daß man eher hier als dort vom Blitze getroffen werden könne, einzulaſſen; nur das iſt zu bemerken, daß man am Feuerherde, unter dem hoch hervorragenden Schornſteine, vollends wenn Feuer auf dem Herde brennt, an einer der gefährlichſten Stellen ſich befindet.

Wirkungen des Blitzes.

Die Wirkungen des Blitzes ſind ſo mannichfaltig, oft ſo wunderbar, daß man zahlreiche einzelne Fälle erzählen müßte, um nur die merkwürdigſten Verſchiedenheiten anzuführen. Wenn der Blitz zündet, ſo ſteht oft ſehr ſchnell das ganze Gebäude in Flammen, weil bei jedem Ueberſchlagen von einem guten Leiter zu einem andern ein Funke entſteht, der, wenn er Feuer fangende Materien findet, zünden kann, ſo daß die Entzündung an vielen Orten zugleich ſtatt findet. Dagegen hat aber auch der Blitz oft, indem er ein ſchwer entzündliches Holz traf, zwar gezündet, aber das Feuer iſt erſt langſam anglimmend ausgebrochen. Wenn der Blitz nicht zündet, ſo liegt dieſes nicht an einer weſentlichen Verſchiedenheit kalter und warmer Schläge, ſondern gewiß einzig an der weniger zum Brennen geeigneten Beſchaffenheit der getroffenen Körper. Die Zerſtörungen, welche der nicht zündende Blitz anrichtet, ſind oft Beweiſe von einer alle unſre Begriffe überſteigenden Gewalt, treffen aber immer die ſchlechtern Leiter, die ſich dem Uebergange zu beſſern in den Weg ſtellen. Bei den vom Blitze getödteten Menſchen ſind gewöhnlich die ſichtbaren Verletzungen unbedeutend, und der Tod muß entweder von einer plötzlichen Zerſtörung der Nerventhätigkeit oder von der plötzlich aufgehobenen Reizbarkeit der Gefäße herrühren. Van Marum ſieht die letztere als die Urſache des gehemmten Blutumlaufes und ſo des plötzlichen Todes an und ſtützt dieſe Meinung darauf, daß Aale, die er mit ſeinen großen Batterien tödtete, ſogleich alle Reizbarkeit der Muskelfaſern verloren hatten, wenn der Schlag durch ihren ganzen Körper ging; war der Schlag nur durch einen Theil des Körpers gegangen, ſo war auch nur in dieſem die Reizbarkeit aufgehoben. Wie plötzlich aber der Tod durch den Blitz ſeyn muß, erhellt aus

den Beiſpielen, wo man die Erſchlagenen ſo gefunden hat, daß keine Muskel eine Zuckung erlitten zu haben ſchien.

Erſcheinungen, welche Blitz und Donner darbieten.

Der Blitz bietet uns ganz die Erſcheinungen eines ſehr großen electriſchen Funkens dar, der aus einer Wolke entweder auf eine andre Wolke oder auf die Erde herabſchlägt. Er verfolgt ſelten eine ganz grade Bahn, ſondern nimmt, nachdem er grade fortgegangen iſt, oft plötzlich eine andre Richtung an, zuweilen theilt er ſich auch in mehrere Blitze. Jene Veränderung ſeiner Bahn, die mit der Erſcheinung des electriſchen Funkens bei größern Schlagweiten übereinſtimmt, rührt wahrſcheinlich davon her, daß die Luft vor dem ſchnell fortbewegten Feuerballe zuſammengedrückt wird und endlich der weitern Bewegung einen zu großen Widerſtand entgegenſetzt. Die Farbe des Blitzes geht oft, ſo wie die des electriſchen Funkens, in Violett und Blau über. Die Schnelligkeit des Blitzes kann man, ſo weit eine Beſtimmung oder vielmehr Schätzung derſelben möglich iſt, auf 1 bis 2 Meilen in der Secunde rechnen; denn oft ſieht man ihn von Wolke zu Wolke, ſelbſt wenn das Gewitter noch über eine Meile entfernt iſt, 60 Grad in einer kürzern Zeit als eine Secunde durchlaufen. Zuweilen ſehen wir den Blitzſtrahl ſelbſt nicht, ſondern der Blitz erleuchtet nur die Wolken. Dieß kann geſchehen, wenn der Blitz an der von uns abgekehrten Seite der Wolke hervorſchlägt; aber es ſcheint zuweilen auch ein eben ſolches Lichtausſtrahlen der Wolke, ohne beſtimmten Funken, ſtatt zu finden, wie bei ſtark geladenen Leitern. Zuweilen ſieht man, wenn die Gewitterwolke faſt den ganzen Himmel bedeckt, aber unten am Horizonte ein heiterer Streif unter der Wolke iſt, bei nächtlichen Gewittern den ganzen Rand der Wolke erleuchtet. Wo man den Blitz hat einſchlagen ſehen, hat er ſich gewöhnlich als ein Feuerball gezeigt.

Daß auch der Donner mit dem, wenn gleich ſchwachen, Laute unſrer electriſchen Funken übereinſtimmt, leidet wohl keinen Zweifel, indeß verdient das Rollen des Donners noch eine beſondre Betrachtung. Da der Donner zugleich mit dem Blitze entſteht, ſo dient die Zwiſchenzeit zwiſchen Blitz und Donner zum Maaße der Entfernung des Gewitters, weil der Schall in jeder Secunde nur etwa 1000 Fuß durchläuft und folglich das Gewitter ungefähr ſo viel 1000 Fuß entfernt iſt, als dieſe Zwiſchenzeit Secunden beträgt. Jeder als wirklicher Funke erſcheinende Blitz iſt von Donner begleitet, dagegen ſcheint das über einen größern Raum verbreitete Ausſtrahlen des Lichtes oft ohne Donner zu ſeyn. Man hört meiſtens den Donner einfach, wenn man dem Orte, wo der Blitz einſchlägt, nahe iſt und dieſer dort an guten Leitern herabgeht; dagegen glaubt man einen knatternden Donner als ein Zeichen eines Einſchlagens auf ſchlecht leitende Körper anſehen zu dürfen, und erklärt ſich dieſen unterbrochenen Knall aus dem wiederholten Ueberſchlagen des Blitzes. Der nicht in der Nähe einſchlagende Blitz läßt uns gewöhnlich das ſogenannte Rollen des Donners, ein dumpfes, abwechſelnd matter werdendes und dann

wieder lauter tönendes Getöſe, hören. Dieſe Verlängerung des Donnerknalles ſcheint zwar zum Theil in einem Echo ihren Grund zu haben; aber wahrſcheinlich iſt es, daß auch wiederholte Explosionen des Blitzes von erneuertem Donner begleitet ſind, und Helvig glaubt beobachtet zu haben, daß der Donner ſo viele Wiederholungen eines erneuerten Getöſes darbiete, als man Aenderungen der Richtung des Blitzes bemerkt habe, ſo daß alſo jede Aenderung der Richtung als eine neue Exploſion anzuſehen ſey. Es iſt ſehr glaublich, daß dieſe Meinung der Hauptſache nach richtig iſt, da ſich einſehen läßt, daß dieſe auf einander folgenden Donner ſehr ſchnell nach einander gehört werden müßten, wenn der Blitz den kurzen Weg BA (XIII. Fig. 31) von der Wolke herab, beinahe gerade gegen den Beobachter A zu, durchläuft, daß dagegen, wenn der Blitz BH in B, in D, in E, F, G, H einzelne Donner hervorbringt; ein Beobachter in C die in F, G entſtandenen Donner eher als die in D, B entſtandenen hören wird, obgleich der Blitz von B nach H gegangen iſt.

Electricität in der Atmoſphäre bei heiterem Himmel.

Ehe ich von der Entſtehung der Gewitter rede, ſcheint es mir nöthig, von dem electriſchen Zuſtande der Luft an heiteren Tagen etwas zu ſagen.

Als man darauf aufmerkſam geworden war, daß wir die Gewitterelectricität durch unſre gewöhnlichen electrometriſchen Inſtrumente kenntlich machen können, bemerkte man auch bald, daß ſelbſt bei heiterm Himmel die Luft electriſch iſt und daß man meiſtens die höhern Luftſchichten mehr poſitivelectriſch als die untern findet. Cavallo, Beccaria u. A. haben Beobachtungen hierüber angeſtellt; aber Sauſſure und Volta verdienen vorzüglich hier genannt zu werden. Der erſtere zeigte, daß ein gewöhnliches empfindliches Electrometer, mit einer 2 Fuß hohen metallenen Spitze verſehen, ſchon wenn man es nur einige Fuß hoch hebt, einen veränderten electriſchen Zuſtand kenntlich macht, und Volta fand, daß die Empfindlichkeit des Electrometers noch vermehrt wird, wenn man auf dieſem Leiter eine Flamme anzündet. Dieſe Flamme führt nämlich den Leitern des Electrometers die in der Luft enthaltene Electricität zu und ſammelt dieſe ſo ſehr, daß man eine electriſche Flaſche damit laden kann. Nach Volta's Anleitung ſoll man auf die Spitze des Electrometers einen brennenden Schwefelfaden oder ein Wachslichtchen ſetzen, und während dieſe Flamme eine Viertelſtunde unterhalten wird, eine Flaſche an das Electrometer halten; dieſe ladet ſich und wird endlich ſo weit geladen, daß die Kugeln oder Strohhälmchen des Electrometers aus einander gehen. Will man dann die Stärke der Luftelectricität noch deutlicher ſehen, ſo bringt man den Knopf der Flaſche an den Condenſator, ladet dieſen und läßt ſeine Funken auf eine ſehr kleine Flaſche übergehen, die ſo bei wiederholtem Verſuche ihre volle Ladung erhalten kann. Dieſe Erſcheinungen laſſen ſich ſogar bei heiterem Himmel, wo die Luft gar nicht bedeutend electriſch iſt, hervorbringen. Erman hat hierbei vor Täuſchungen gewarnt, die durch

ungleiche Annäherung des Electrometers an die Erdoberfläche, vermöge der Vertheilung der Electricität, entſtehen könnten; aber es ſcheint mir nicht, daß Volta's Verſuche ſich durch eine bloße Vertheilung, an welche auch Volta ſelbſt gedacht hat, erklären laſſen.

Die Electricität der Luft iſt gewöhnlich poſitiv; die negative Electricität ſcheint nur als Ausnahme vorzukommen, nach Foggo's Beobachtung vorzüglich dann, wenn das Herannahen einer poſitiv-electriſchen Gewitterwolke, deren Rand das Zenith noch kaum erreicht, durch Vertheilung die ihr entgegengeſetzte Electricität vorherrſchend macht.

Bei heiterem Himmel beobachtet die dann ſtets poſitive Electricität in ihrem Zu- und Abnehmen ziemlich beſtimmte Geſetze. Sie iſt faſt ohne Ausnahme im Winter ſtärker als im Sommer. Bei Sonnenaufgang iſt ſie ſchwach, nimmt aber zu, wenn ſich einige Stunden nachher die Morgennebel niederſchlagen, welche aus dem Niederſchlage der durch die Erwärmung der Erde vermehrten Ausdünſtung in der noch nicht durchwärmten Luft entſtehen; wenn etwas ſpäter dieſe leichten Nebel wieder verſchwinden, ſo nimmt die Electricität ab, während die Trockenheit der Luft zunimmt; die Electricität erreicht Nachmittags ihren geringſten Grad um die Zeit, wo die Luft am trockenſten iſt, aber gegen Sonnenuntergang, wo die Feuchtigkeit wieder zunimmt, ſteigt der Grad der Electricität und wird beim Entſtehen des Thaues gewöhnlich am bedeutendſten.

Hiernach ſcheint es alſo ein Naturgeſetz zu ſeyn, daß, wenn die unſichtbaren Dämpfe ſich zu ſichtbaren Dünſten verdichten, poſitive Electricität merklich wird, und dieſes läßt ſich mit einem von Volta ſchon angeſtellten Experimente, welches ſpäter auch von Grotthuß beſtätigt gefunden hat, ſehr gut in Uebereinſtimmung bringen. Nach dieſen Verſuchen bleibt nämlich, wenn man Waſſer verdampfen läßt, das Gefäß negativ electriſch zurück, und der Dampf muß alſo poſitive Electricität in ſich aufgenommen haben; es ſcheint daher natürlich, daß dieſe + E wieder merklich wird oder als freie Electricität ſich zeigt, wenn die Dämpfe wieder in den Zuſtand ſichtbarer Dünſte zurückkehren.

Entſtehung der Electricität in den Wolken, und Erſcheinungen, welche die Gewitterwolken begleiten.

Ein ähnlicher Grund, nämlich ein ſehr viel ſchnelleres Fortſchreiten des Dunſtniederſchlages, ſcheint nun auch die nächſte Bedingung des Entſtehens der Electricität in den Wolken zu ſeyn. Wenn an heitern und heißen Tagen ſich Haufenwolken, nämlich Wolken von ungefähr halbkugelähnlicher Form, zu bilden anfangen, ſo ſind dieſe Wolken auch ſogleich in etwas ſtärkerem Grade electriſch; aber zu Gewitterwolken werden ſie nur dann, wenn dieſer Proceß der Wolkenbildung ſehr raſch fortſchreitet. Auch da, wo bei einem heftigen Sturme (ich glaube ſagen zu dürfen, bei einem heftigen Zuſtürzen der Luft gegen einen Ort, an welchem der Druck der Luft ſehr vermindert iſt) die Dünſte

zuſammengedrängt werden, oder wenn die Wolken gegen Gebirge getrieben werden, oder wenn die aus den feuerſpeienden Bergen aufſteigenden Dämpfe ſich in der Höhe zu Wolken verdichten, gehen Blitze aus den Wolken hervor. Aber ob nun nicht eine Wechſelwirkung, wodurch die Electricität ſelbſt wieder Urſache eines vermehrten Heranziehens von Dünſten und einer beſchleunigten Wolkenbildung wird, ſtatt findet, darüber ſcheint mir noch eine große Unſicherheit in unſern Kenntniſſen übrig zu ſeyn. Die heftigen Platzregen, die mit den Gewittern entſtehen, ja die bei Gewittern immer ſehr ſchnell fortſchreitende Wolkenbildung ſelbſt ſcheint mir nicht ſo leicht zu erklären. Volta hat darauf aufmerkſam gemacht, daß, wenn in einer beſtimmten Gegend geſtern ſich Witterwolken bildeten, die ſich aber wieder zerſtreuten, dieſe Gegend heute die erſte iſt, wo ſich neue Gewitterwolken zeigen, daß alſo die dort noch übrige Electricität die Veranlaſſung zu neuen Wolken zu geben ſcheine; aber auch hierüber ſind wir noch unſicher. Ebenſo wenig, als jene ſchnelle, oft über ganze Länder verbreitete Wolkenbildung, ſcheint mir der Zuſammenhang der drückenden Schwüle vor den Gewittern mit dem Entſtehen der Gewitter erklärt zu ſeyn.

Eine andere uns noch völlig dunkle Erſcheinung iſt die ſo oft in den Gewitterwolken entſtehende Kälte, die ſich häufig durch einen empfindlich kalten Wind, ſeltner durch die Entſtehung des Hagels, merklich macht. Bei dem plötzlichen Uebergange der Dämpfe in tropfbares Waſſer ſollte eher Wärme frei werden; ſtatt deſſen aber bilden ſich Eisſtücke, die oft ganze Gegenden verheeren. Dieſer Hagelbildung ſcheinen einige Gegenden häufiger als andere benachbarte ausgeſetzt zu ſeyn; ſie iſt ſehr ſelten über dem Meere und über den nächſten Gegenden am Meere; ſie findet faſt durchaus nur am Tage und faſt nur an ſehr heißen Tagen ſtatt. — Keine der zahlreichen, mir bekannten Theorieen giebt einen Aufſchluß, der eine ſtrenge Kritik aushielte, über alle dieſe Umſtände.

Leichter erklärlich iſt es, daß die electriſchen Wolken einander anziehen, daß man zuweilen ein Annähern der Wolke gegen die Erde und nach einem Blitze ein Höherſteigen der Wolke bemerkt hat, daß zuweilen eine ungeheure Staubmaſſe gegen die Wolke hinaufgezogen wird und dann ſich das Gewitter zerſtreut, als ob die Electricität eine Ableitung in dieſer Staubmaſſe gegen die Erde zu gefunden hätte. Dieſe in einem Wirbelwinde, gewöhnlich ohne weiter auffallende Umſtände, gehobenen Staubwolken ſcheinen verwandt mit dem gleichfalls große Schwierigkeiten hinſichtlich ſeiner Erklärung darbietenden Phänomene der Tromben oder Waſſerhoſen (auch Wetterſäulen genannt), die mit einer wirbelnden Bewegung alles zu zerſtören pflegen, was ihnen von beweglichen Körpern in den Weg kömmt, und das Waſſer des Meeres aufwärts zu ziehen ſcheinen. [1]

[1] Neuerdings haben Kämtz, Oerſted und beſonders Peltier dieſem eben ſo großartigen als räthſelhaften Phänomene ihre Aufmerkſamkeit zugewandt und es zu erklären geſucht. Daß die Electricität bei demſelben thätig ſey, vermuthet auch Muncke. (M.)

Endlich muß ich doch noch eine electriſche Erſcheinung bei Gewittern erwähnen, die Wetterlichter, auch St. Elmsfeuer oder bei den Alten Caſtor und Pollux genannt. Dieſes ſind weiße Flämmchen, die auf den höchſten Spitzen der Gegenſtände ſich zeigen und ganz der von Spitzen in die Luft ausſtrömenden Electricität gleichen. Gewöhnlich ſcheinen ſie ſich dann zu zeigen, wenn die untere Luft ſtark electriſch iſt, ſo daß an den Spitzen die entgegengeſetzte Electricität ausſtrömt; da unter dieſen Umſtänden das ſchnelle Zunehmen der Electricität, welches den Blitz hervorbringt, nicht oder doch nur ſelten ſtatt findet, ſo hält man ſie für ein Zeichen, daß das Gewitter keine Gefahr drohe. Sie zeigen ſich am leichteſten auf Thurmſpitzen, auf den metallenen Spitzen der Maſten u. ſ. w.; aber nicht ſelten haben Reiſende im freien Felde ſie an ihrem eigenen emporgehobenen Finger oder an jedem hervorragenden Gegenſtande geſehen. Leuchtender Regen und leuchtender Schnee beruhen auf ähnlichen Umſtänden, jedoch kann da die ausſtrömende Electricität auch in bloßer Ungleichheit der Electricität in höhern und in niedrigern Luftſchichten ihren Grund haben.

Siebenundſechzigſte Vorleſung.

Galvani's neue Entdeckung electriſcher Erſcheinungen.

Die bisher angeführten Entdeckungen, die größtentheils ſchon vor dem Jahre 1790 gemacht waren, ſchienen beinahe alles das, was die Electricität an merkwürdigen Erſcheinungen darbot, erſchöpft zu haben, als eine zufällig bemerkte, ziemlich unbedeutend ſcheinende Beobachtung die Veranlaſſung zu den unerwartetſten neuen Entdeckungen gab.

Jene zufällig beobachtete Erſcheinung beſtand nämlich darin, daß bei dem Präpariren von Froſchſchenkeln in Galvani's Zimmer bemerkt wurde, daß dieſe bei der Berührung des Cruralnerven mit einem Metalle zuckten, wenn aus einer entfernt ſtehenden Electriſirmaſchine Funken gezogen wurden. Genau betrachtet enthält dieſe Erfahrung nichts, was uns ſo ſehr unerwartet erſcheinen kann; denn es iſt bekannt, daß dieſe Thiere die Reizbarkeit, worauf die zuckenden Bewegungen der Muskeln beruhen, noch lange nach dem Tode und ſelbſt nach der Trennung einzelner Theile vom Körper behalten; es ließ ſich vermuthen, daß dieſe Reizbarkeit nur der ſchwächſten Spuren von Electricität bedürfen möge, um ſich wirkſam zu zeigen, und ſolche Spuren von Electricität konnten, vermöge der Vertheilungselectricität, unter den erwähnten Umſtänden gar wohl vorkommen. Indeß wollen wir nicht vergeſſen, daß uns, nachdem wir in dem Froſchſchenkel eines der feinſten Electroſcope kennen gelernt haben, dieſe Erſcheinungen ſich in einem klareren Zuſammenhange darſtellen, als es in jener Zeit möglich war. Uns, die wir die bei der Vertheilungselectricität

vorkommenden Veränderungen des electriſchen Zuſtandes ſo genau und auf ſo mannigfache Weiſe kennen, kann der Gedanke nicht fremd ſeyn, daß die Ladung und Entladung eines electriſchen Leiters, ſelbſt in den ſchon bedeutend entfernten Leitern, eine Aenderung des electriſchen Zuſtandes hervorbringen muß, daß alſo das Meſſer, welches den entblößten Nerven des Froſches berührt, in ſeinem von der Electriſirmaſchine entfernten Theile poſitiv-electriſch iſt, wenn der Leiter der Electriſirmaſchine poſitiv iſt, und daß dieſer poſitive Zuſtand in dem Augenblicke der Entladung jenes Leiters plötzlich aufhört, daß alſo ein in hohem Grade empfindlicher Körper dieſe geringen Unterſchiede gar wohl und der Hauptſache nach ebenſo gut zeigen kann, als wir es bei ſtärkern Unterſchieden überall gewohnt ſind.

Galvani knüpfte an dieſe Erfahrung eine Reihe von Unterſuchungen über die Urſachen dieſes Erfolges, und als er einmal präparirte Froſchſchenkel an einem eiſernen Geländer aufgehängt hatte, bemerkte er, daß dieſe in Zuckungen geriethen, wenn die Häkchen, welche das Rückenmark berührten, mit dem Metalle des Geländers in Verbindung kamen. Dieſe Beobachtung führte zur Kenntniß der ganz neuen Erſcheinung, daß, wenn ein Nerve und ein Muskel eines Thiers durch zwei verſchiedene Metalle, die in leitender Verbindung ſtehen, berührt werden, eine Zuckung erfolgt, und dieſer Metallreiz erhielt den Namen Galvanismus. Galvani ſelbſt war geneigt, dieſe Erſcheinungen einer eigenthümlichen Electricität zuzuſchreiben, die, in den thieriſchen Theilen erregt, bei Schließung des durch Nerven, Muskel und Metalle gebildeten Kreiſes durch das Metall übergehe; andere Naturforſcher zweifelten gleichfalls, daß man die Erſcheinungen den Geſetzen der gewöhnlichen Electricität entſprechend erklären könne, waren aber geneigter, etwas dem thieriſchen Körper Eigenthümliches vorauszuſetzen, und die Verſuche, wodurch man die letztere Meinung zu befeſtigen ſuchte, wurden von mehreren Phyſikern mit großem Fleiße vermehrt.

Aber während ſo ſelbſt die größten Phyſiker, durch unrichtige Hypotheſen verleitet, ihre Aufmerkſamkeit, ihren Fleiß und ihren Scharfſinn auf Unterſuchungen wandten, welche zwar viele merkwürdige Einzelheiten kennen lehrten, aber doch die tiefere Einſicht in dieſe Erſcheinungen wenig förderten, gab es einen Naturforſcher, der faſt vom erſten Augenblicke an den richtigen Gedanken, daß die ganze Erſcheinung eine reine Wirkung der Electricität ſey, unveränderlich feſthielt, denſelben mit dem größten Scharfſinn und mit der größeſten Geſchicklichkeit im Experimentiren aufs ſorgfältigſte prüfte und durch ihn zu den glänzendſten Entdeckungen, welche die Richtigkeit ſeiner Anſichten verbürgten, gelangte. Dieſer Naturforſcher war Alexander Volta.

Statt daß die übrigen Phyſiker ihre Aufmerkſamkeit dem in der galvaniſchen Kette vorkommenden thieriſchen Körper widmeten und mannigfaltige belehrende Verſuche anſtellten, zum Beiſpiel über die lange Dauer der nach dem Tode des Thieres noch fortwährenden Reizbarkeit, über die Mittel, ſie zu beleben oder zu zerſtören, und über die Hervorbringung des Reizes ohne

Zwiſchenkunft eines Metalles, wandte Volta allen Fleiß darauf, mit den gewöhnlichen electroſcopiſchen Mitteln die bei der gegenſeitigen Berührung zweier Metalle hervorgehende Electricität zu entdecken, indem er deutlich einſah, daß, ſobald dieſes gelänge, die völlige Ueberzeugung ſich begründen müſſe, daß der thieriſche Körper nur als Leiter der Electricität und als feines Electroſcop diene, die Quelle der electriſchen Erſcheinungen aber in der Berührung der Metalle zu ſuchen ſey. Bei dieſen Unterſuchungen machte ihn die Erfahrung nicht irre, daß auch anſcheinend gleichartige Metalle zur Schließung des Kreiſes dienen können, daß ein neu hinzukommendes Metall, ſogar ohne zur Schließung zu dienen, ſich wirkſam zeigte u. ſ. w.; — und in der That hat ſich auch nachher gezeigt, daß es immer geringe Verſchiedenheiten [1] in dem electriſchen Zuſtande der Körper waren, wodurch jene der voltaiſchen Theorie anſcheinend widerſprechenden Erfolge eintraten. Seine genaue Bekanntſchaft mit dem von ihm erfundenen und unzählig oft angewandten Condenſator machte ihn auch vor allen ſeinen Zeitgenoſſen geſchickt, jene leiſen Spuren von Electricität, die er vermuthete, zu entdecken, und ſeine Verſuche laſſen ſich jetzt, da wir im Beſitze noch feinerer Electrometer ſind, mit weit mehr Leichtigkeit als zu jener Zeit wiederholen.

Volta's Fundamentalverſuch.

Sie haben aus den bisherigen Betrachtungen ſchon die Meinung Volta's, daß die Berührung zweier Metalle an einander eine Störung in dem Gleichgewichte der in ihnen enthaltenen electriſchen Materien hervorbringe, angedeutet geſehen; folgender Verſuch ſetzt dieſe Meinung in ein helleres Licht.

Wenn man (XIII. Fig. 32) eine Kupferplatte AB und eine ebenſo große Zinkplatte CD ſorgfältig an ihren untern Seiten abſchleifen, an ihren obern Seiten aber mit den iſolirenden Handhaben E, F verſehen läßt, dieſelben, nachdem ſie vorher mit der Erde in Verbindung geſetzt, alſo entladen worden ſind, mit den glatten unteren Seiten in gegenſeitige Berührung bringt und hierauf die in der immer iſolirt gehaltenen Kupferplatte etwa vorhandene Electricität auf einen Condenſator gehörig überträgt, um dieſen zu laden, ſo findet man die ſo berührte Condenſatorplatte, wenn ſie aus Kupfer oder Meſſing beſteht, negativ-electriſch. Gewöhnlich reicht es zu einer merklichen Ladung des Condenſators nicht hin, daß man die Zink- und Kupferplatten einmal in Berührung ſetzt, dann die Kupferplatte an die untere Condenſatorplatte bringt, während der Finger die obere Platte berührt, und ſo die negative Electricität aus der Kupferplatte zur untern Platte des Condenſators hinüber zieht; ſondern man muß dieſes Verfahren, nachdem die Zink- und die Kupferplatte wieder jede einzeln mit dem Finger berührt ſind, wiederholen und mehrmals wiederholen; aber bei gehörigem Verfahren und einem hinreichend empfindlichen

[1] Von Humboldt bemerkte zum Beiſpiel, daß ein behauchtes Metall ſchon eine andere Wirkung hervorbrachte, als das unbehauchte.

Electrometer findet man gewiß, daß die öfter zur Ladung angewandte Kupferplatte eine negative Ladung hervorgebracht hat.

Dieſer Verſuch zeigt alſo, daß die Kupferplatte durch die Berührung von Zink negativ-electriſch wird, und Sie werden bald ſehen, daß die Zinkplatte ſich dagegen poſitiv-electriſch zeigt. Um dieß zu zeigen, iſt es am beſten, noch einen zweiten Condenſator zur Hand zu haben, an welchem wenigſtens die eine Platte, diejenige nämlich, die man zu laden gedenkt, eine Zinkplatte iſt. Dann bedarf es nur des genau ebenſo angeſtellten Verſuches, wo nun die mit der Kupferplatte in Berührung gebrachte Zinkplatte ebenſo zur Ladung dieſes Condenſators angewandt und hiedurch die poſitive Electricität der Zinkplatte ſichtbar wird.

Dieſer Verſuch läßt ſich noch leichter ſo anſtellen. Wenn man einen Condenſator mit kupfernen oder (was hier faſt einerlei iſt) meſſingenen Platten hat, ſo nimmt man ohne Iſolirung eine Zinkplatte in die Hand, bringt ſie mit der unteren, nicht überfirnißten Seite der untern Condenſatorplatte in Berührung, damit die Electricität aus dem Zink zum Kupfer oder umgekehrt übergehen könne, berührt die obere Condenſatorplatte mit dem Finger, entfernt dann die Zinkplatte und den Finger, hebt die obere Platte des Condenſators und findet die untere Platte negativ, weil ſie, als eine Kupferplatte, hier ebenſo gut poſitive Electricität an das Zink abgegeben hat, wie es vorhin bei der Kupferplatte und Zinkplatte der Fall war. Den Gegenverſuch kann man an dem Condenſator aus Zinkplatten machen, wenn dieſe ebenſo die untere an ihrer oberen Seite, die obere an ihrer unteren Seite überfirnißt ſind. Läßt man nämlich hier eine Kupferplatte oder ein Kupferſtück die Zinkplatte an einer nicht gefirnißten Stelle berühren, ſo nimmt die Zinkplatte poſitive Electricität auf, und bei dem vorhin gezeigten Verfahren iſt nun die Condenſatorplatte poſitiv geladen.

Dieſe Verſuche zeigen deutlich ein bis dahin unbekanntes Naturgeſetz, nämlich daß Zink und Kupfer, die beide mit der Erde in Verbindung geweſen, alſo auf den Nullzuſtand gebracht ſind, wenn ſie iſolirt gehalten in Berührung gebracht und nun getrennt werden, ſich nicht mehr im ungeladenen Zuſtande befinden, indem das Zink poſitiv-electriſch, das Kupfer negativ-electriſch geworden iſt. Da dieſer electriſche Zuſtand aus der bloßen Berührung hervorgeht, ſo hat man dieſe Electricität Berührungselectricität genannt. Sie beruht auf dem Naturgeſetze, daß in der Berührung ebenſo gut ein gewiſſer Antheil poſitiver Electricität vom Kupfer auf das Zink übergeht, wie bei der Reibung vom Reibzeuge auf das Glas, und daß nach der Trennung beider Metalle der geſtörte Gleichgewichtszuſtand, das Uebermaaß an poſitiver Electricität im Zink und an negativer im Kupfer, hier ebenſo kenntlich wird, wie es am Glaſe und Reibzeuge, ſobald die geriebenen Theile aus der Reibung hervorgehen, der Fall iſt.

Die beiden Arten, den obigen Verſuch anzuſtellen, ſcheinen etwas Verſchiedenes darzubieten. Nimmt man zwei Platten AB, CD (XIII. Fig. 32),

um die Kupferplatte zum kupfernen Condenſator überzutragen, ſo müſſen die Berührungsflächen möglichſt groß und eben ſeyn; bringt man dagegen die Zinkplatte ſelbſt an die kupferne Condenſatorplatte, ſo kommt es auf die Größe der Berührungsfläche gar nicht an. Dieſe anſcheinende Verſchiedenheit iſt leicht zu verſtehen. Es iſt gewiß, daß vorzüglich an den Berührungspunkten dieſer veränderte Zuſtand eintritt; haben alſo die Platten AB, CD (Fig. 32) ſich in 10 Quadratzoll Fläche berührt, ſo trägt man zehmal ſo viel negative Electricität mit der Kupferplatte zum Condenſator, als wenn die Berührungsfläche nur 1 Quadratzoll betragen hätte. Hier erhellt alſo die Nothwendigkeit großer Berührungsflächen und genauer Berührung; am Condenſator dagegen iſt die Berührung eines Punktes genügend, wenn die Condenſatorplatte von Kupfer, die berührende Maſſe dagegen Zink iſt. Obgleich nämlich die wichtigſte Wirkung nur in dem Berührungspunkte A (Fig. 33) ſtatt findet[1], und hier die poſitive Electricität auf der Platte AZ die in AK entwickelte negative Electricität gebunden hält, ſo iſt doch dieſes Gebundenſeyn hier ebenſo wenig als auf der Belegung der electriſchen Flaſche ſo vollkommen, daß alle Wirkung auf die entferntern Punkte aufgehoben würde. Bei A iſt die Kupferplatte AK wegen der Berührung des Zinks, weil das Zink einen beſtimmten Vorzug an poſitiver Electricität fordert, negativ, und dieſer Zuſtand erſtreckt ſich in ſchwächerem Maaße bis an die Firnißfläche DE, wo die negative Electricität durch die in der obern Platte angezogene poſitive gebunden wird; wegen dieſer Anziehung und der dadurch verminderten Gegenwirkung läßt der berührte Punkt A etwas mehr negative Electricität nach DE gelangen und nimmt dagegen aus AZ negative Electricität auf, damit in A die Differenz zwiſchen dem immer durch Ableitung bei Z auf Null erhaltenen Zink und dem Kupfer die gehörige Größe behalte; dieſe Mittheilung, dieſe Ladung des Condenſators, dauert, der Kleinheit der Berührungsfläche ungeachtet, fort, bis der Condenſator ſo ſtark geladen iſt, als es nach dem Grade der in A angehäuften negativen Electricität geſchehen kann. Uebrigens iſt die hiezu erforderliche Zeit nur ſehr kurz.

Reihenfolge der electromotoriſchen Leiter.

Ich will hier von den mannigfaltigen Abänderungen dieſes Fundamentalverſuches, deren Zweck vorzüglich war, zu zeigen, daß Reibung und Druck an dieſer Berührungselectricität keinen Antheil haben, nichts ſagen, ſondern nun zu dem gegenſeitigen Verhalten der verſchiedenen Metalle übergehen. Bisher habe ich immer nur Zink und Kupfer genannt, weil dieſe Metalle ihrer bedeutenden Wirkſamkeit wegen vorzüglich angewandt werden; aber dieſe Wirkſamkeit, dieſe electromotoriſche Einwirkung, findet in einigem Grade zwiſchen allen Metallen und zwiſchen allen den Körpern ſtatt, die wir, nach Volta's Anleitung, Leiter der erſten Art oder auch Electromotoren nennen wollen. Bei ihnen nämlich iſt es ein Naturgeſetz, daß der eine Körper bei

[1] Daß dieß der Fall ſey, hat Fechner durch beſonders darauf gerichtete Verſuche gezeigt.

der Berührung ein beſtimmtes Uebermaaß an poſitiver, der andre an negativer Electricität aufnimmt. Dieſe beſtimmte Differenz iſt bei je zwei Metallen eine andre, aber bei zwei beſtimmten Metallen immer dieſelbe, zum Beiſpiel wenn Silber und Kupfer einander berühren und man die hier im Silber hervortretende negative Electricität 1 Grad nennt, alſo auch die im Kupfer hervortretende poſitive 1 Gr., ſo iſt nach Volta's Angaben bei der Berührung von Eiſen und Silber jenes 3 Gr. poſitiv, dieſes 3 Gr. negativ, bei der Berührung von Blei und Silber Blei 7 Gr. poſitiv, Silber 7 Gr. negativ, bei der Berührung von Zink und Silber Zink 12 Gr. poſitiv, Silber 12 Gr. negativ. Aber nicht bloß iſt dieſe Differenz immer dieſelbe bei zwei beſtimmten Metallen, ſondern auch die Reihenfolge der Metalle iſt ſo beſtimmt, daß man aus der Prüfung, wie groß die Differenz zwiſchen Silber und Blei und zwiſchen Silber und Zink iſt, die Differenz zwiſchen Blei und Zink ſicher folgern kann. War nämlich für Silber und Zink Silber 12 Gr. negativ, für Silber und Blei Silber 7 Grad negativ, ſo iſt gewiß für Blei und Zink Blei 5 Grad negativ, und ſo in allen andern Fällen. Silber und Kupfer bieten indeß noch nicht den ſtärkſten Gegenſatz gegen Zink dar, ſondern Graphit ſteht weiter nach der negativen Seite, Manganoxyd oder Braunſtein noch weiter, ſo daß bei der Berührung von Braunſtein mit Silber jener ungefähr 10 Gr. negativ, bei der Berührung von Braunſtein mit Zink jener ungefähr 22 Gr. negativ werden würde, wenn wir die vorige Angabe von Graden, die den wahren Verhältniſſen wenigſtens nahe kommt, beibehalten wollen. Diejenige Reihe der Electromotoren, in welcher ſie ſo aufeinander folgen, daß jeder derſelben mit jedem nachfolgenden durch Berührung poſitiv, mit jedem vorhergehenden negativ wird und die electriſche Differenz je zweier Körper deſto größer iſt, je weiter ſie in dieſer Reihe von einander abſtehen, nennt man Spannungsreihe. Die von Pfaff aufgeſtellte lautet: Zink, Blei, Cadmium, Zinn, Eiſen, Wismuth, Kobalt, Arſenik, Kupfer, Spießglanz, Platin, Gold, Queckſilber, Silber, Kohle, Glaserz, Schwefelkies, Kupferglanzerz, Kupferkies, Bleiglanz, Waſſerblei, Pecherz, Graphit, Wolfram, Braunſtein.[1]

Aus dieſen Beſtimmungen geht als Folgerung der Satz hervor, daß bei einer Berührungskette mehrerer electromotoriſchen Leiter, deren erſter mit der Erde in Verbindung iſt, während die übrigen iſolirt gehalten zur Berührung gebracht werden, der electriſche Zuſtand des letzten gar nicht von den Mittelgliedern der Reihe abhängt. Silber mit Zink in Berührung erhielt nach den obigen Angaben 12 Gr. negative Electricität; wir wollen nun die Kette ſo bilden, daß Silber und Eiſen, Eiſen und Blei, Blei und Zink ſich berühren, ſo fordert Zink einen Vorzug von 5 an poſitiver Electricität vor dem Blei, Blei einen Vorzug von 4 vor dem Eiſen, Eiſen einen Vorzug von 3 vor dem Silber, und es iſt folglich, wenn das Silber mit der Erde in Verbindung

[1] Nach den Verſuchen andrer Phyſiker ſteht Platin weiter als Silber nach der negativen Seite. Uebrigens hängt der Erfolg in jedem einzelnen Falle noch von andern Bedingungen als der allgemeinen Natur der verbundnen Körper ab. (M.)

ſteht, alſo = 0 iſt, Eiſen = + 3, Blei = + 7, Zink = + 12, gerade ebenſo wie bei der unmittelbaren Berührung von Zink und Silber.

Aus dieſem Grunde erhält man am Condenſator keine Spur von Electricität, wenn man die kupferne Condenſatorplatte mit einer auf Kupfer liegenden Zinkplatte ſo berührt, daß dieſes Kupfer mit der Erde in Verbindung ſteht, während das Zink bloß von den beiden Kupferplatten berührt wird. Mag nämlich immer das auf dem Kupfer liegende Zink ſeinen Vorzug an poſitiver Electricität haben, ſo iſt doch nicht das mindeſte Beſtreben da, dieſe Electricität an die Condenſatorplatte abzugeben, da der Ruheſtand der electriſchen Materien erſt eintritt, wenn das Zink ſeinen gebührenden Ueberſchuß an poſitiver Electricität hat, ſowohl über das an der einen als das an der andern Seite liegende Kupfer, und daher kommt das obere Kupfer ebenſo gut auf den Nullzuſtand, als das untere. Aus dieſem Grunde bedurften wir einer andern Condenſatorplatte, um die dem Zink vom Kupfer her zu Theil gewordene Ladung auf den Condenſator hinüber zu führen, weil das vom Kupfer her geladene Zink keine Spur von Beſtreben zeigen kann, ſeine Ladung an ebenſolches Kupfer abzugeben; wollte man alſo die Verſuche mit Silber, Eiſen, Blei anſtellen, ſo müßte man Condenſatorplatten von jedem dieſer verſchiedenen Metalle anwenden.

Wirkung der Leiter der zweiten Art.

Aber dieſe anſcheinende Nothwendigkeit wird gehoben, wenn man einen Leiter der zweiten Art als zwiſchenliegenden Körper anwendet. Die feuchten Leiter nämlich, Waſſer, Salzauflöſungen, durchnäßtes Papier u. a., haben die Eigenſchaft, hier bloß als Leiter, nicht electromotoriſch, zu wirken, und heißen daher Leiter der zweiten Art. Die Erfahrung zeigt dieß, und die Frage, ob gar keine von der bloßen Leitung verſchiedene Wirkung hier eintrete, kann für jetzt bei Seite gelaſſen werden. Dieſe Erfahrung liegt in folgendem Verſuche. Sie wiſſen, daß eine Zinkplatte auf die kupferne Condenſatorplatte keine poſitive Electricität hinüberſendet, wenn die Zinkplatte Z eine mit der Erde in Verbindung ſtehende Kupferplatte K berührend (Fig. 34), mit ihrer andern Seite die Condenſatorplatte L berührt. Aber bringen Sie jetzt ein genäßtes Papier zwiſchen Z und L, ſo daß Z nirgends in metalliſcher Berührung mit L iſt, ſo kann der Condenſator, bei dem Ihnen bekannten Verfahren, ebenſo gut mit der in Z vorhandenen poſitiven Electricität geladen werden, wie es geſchehen konnte, wenn L eine Zinkplatte war. Der Grund, warum ohne jene Zwiſchenlage keine poſitive Electricität von Z nach L überging, war, daß Z ebenſo gut ſeinen Vorzug an poſitiver Electricität von L als von K forderte, ſo lange bei metalliſcher Berührung die Contactelectricität wirkſam ſeyn konnte; wir ſehen alſo, daß dieſe Wirkſamkeit durch den zwiſchenliegenden feuchten Leiter ganz weggefallen iſt, und daß hier die in Z angezogene poſitive Electricität ganz gewöhnlich geleitet nach L übergeht, daß Z in dem Berührungspunkte an K ſich immer aufs neue mit der dem Zink

gebührenden Menge von + E verſieht, und daß dieſes Hinüberleiten ſo lange ſtatt findet, bis L und Z beide mit ſo viel + E geladen ſind, als die Ladung des Condenſators fordert. Hiemit iſt alſo die Wirkung dieſer Leiter der zweiten Art deutlich dargethan.

Jetzt, da wir die ganze Wirkung der einzelnen Theile dieſer einfachen galvaniſchen Kette aus den Verſuchen mit dem Condenſator kennen, iſt es der Mühe werth, noch einen Rückblick auf den erſten galvaniſchen Verſuch zu werfen und zu überlegen, wie Volta's Scharfſinn ſchon in dieſem alles das finden konnte, was ich Ihnen bisher angegeben habe. Jener galvaniſche Verſuch beſtand darin, daß der Froſchſchenkel einen feuchten Leiter zwiſchen zwei ungleichartigen Metallen bildete, und den Uebergang von Electricität verrieth, ſobald dieſe Metalle ſich berührten. War nun der Gedanke einmal gefaßt, daß in der Berührung der Metalle eine Aenderung des Electricitätszuſtandes entſtehe, ſo ließ die Zuckung, als Wirkung des erſten Stoßes dieſer Electricität, ſich erklären, und es war auch klar, daß bei dauernder Schließung des durch die zwei Metalle und den thieriſchen Körper gebildeten Kreiſes das Durchſtrömen der Electricität ebenſo ohne neue Zuckung ſtatt finden könne, wie wir bei feſtem Anhalten an dem Conductor der fortgeſetzt wirkſamen Electriſirmaſchine keinen neuen Funkenſchlag erhalten.[1] Es war alſo ein electriſcher Strom, der — wenn Kupfer und Zink die beiden Metalle ſind und wir auf den poſitiv-electriſchen Strom ſehen — vom Kupfer zum Zink übergehend den thieriſchen Leiter trifft und dann kreiſend ſeinen Lauf unaufhörlich fortſetzt. Daß es Electricität ſey, wurde beſtätigt, da alle Beobachter fanden, daß die Zuckungen erfolgten, wenn auch die zwei Metalle nur durch andre Leiter der Electricität mit dem thieriſchen Theile, der durch ſein Zucken die Veränderungen kenntlich machte, verbunden waren, und daß die Zuckungen nicht erfolgten, wenn ein Nichtleiter der Electricität die Verbindung unterbrach.

Fragen wir nun, wie ſich die Schließung eines ſolchen Kreiſes verhalten würde, wenn die drei Körper, aus denen er ſich bildet, alle drei der electromotoriſchen Claſſe der Körper, welche eine beſtimmte Reihenfolge bilden, angehörten, ſo finden wir, und auch Volta überſah dieß ſehr bald, daß da kein electriſcher Strom entſtehen könnte. Wir wollen ſtatt des Froſchſchenkels Eiſen anwenden und Silber und Zink als die den Kreis ſchließenden Metalle nehmen, ſo wiſſen Sie, daß Zink 9 Gr. poſitive Electricität als Vorzug vor dem Eiſen, Eiſen 3 Gr. poſitive Electricität als Vorzug vor dem Silber verlangt; alſo ſchon vor dem Schluſſe der Kette können wir, da das Eiſen vom Silber am einen, vom Zink am andern Ende berührt wird, dem Silber Null, dem Eiſen + 3, dem Zink + 12 beilegen, und es iſt nun klar, daß die Schließung keinen Uebergang von Electricität veranlaßt, da Zink ſeinen gebührenden Ueberſchuß = + 12 vor dem Silber ſchon hat, alſo keine Aenderung bei der Berührung eintritt.[2] Der feuchte Leiter mußte alſo, da die Berührung

[1] Von dem Zucken beim Oeffnen der Kette kommt ſpäter die Erklärung vor.

[2] Eine ſehr geringe Aenderung möchte allenfalls vorgehen, weil noch ein neuer Berührungspunkt

jenen Uebertritt electriſcher Materie veranlaßte, auf eine andre Art, als die Leiter der erſten Art wirken, er mußte nicht der Reihenfolge der electromotoriſchen Leiter angehören.

Indeß wenn auch dieſe Ueberzeugung ſchon durch jenen erſten Verſuch begründet iſt, ſo hat doch Volta, während ſein Scharfſinn dieſes erkannte, auch dieſe Eigenthümlichkeit der Leiter der zweiten Art durch zahlreiche Verſuche, die ich hier nicht weiter anführen kann, ſorgfältig bewieſen.

Verſtärkte Wirkung der zuſammengeſetzten galvaniſchen Kette.

Um aber von jenen Verſuchen zu der wichtigen Kenntniß, daß eine Verſtärkung der galvaniſchen Erſcheinungen möglich ſey, zu gelangen, mußte noch ein andrer neuer Lehrſatz aufgeſtellt und bewieſen werden. Diejenigen Verſuche, die wir unter dem Namen des Volta'ſchen Fundamentalverſuchs zuſammen gefaßt haben, zeigten, daß bei der Berührung von Kupfer und Zink das Gleichgewicht der electriſchen Materien erſt dann eintrat, wenn das Zink ſich einen beſtimmten Antheil an poſitiver Electricität zugeeignet hatte, und daß dieſes entweder geſchehen konnte, indem Kupfer 0 und Zink in jenem vollen Grade poſitiv, oder indem Zink 0 und Kupfer in jenem vollen Grade negativ wurde, oder indem beide iſolirt zur Berührung gebrachte Metalle entgegengeſetzt electriſch wurden, wo dann Zink den halben Grad der poſitiven und Kupfer den halben Grad der negativen Electricität erreichte. Dieſe feſte Differenz der electriſchen Spannung, die wir vorhin annähernd für Silber und Zink durch 12 ausdrückten und die alſo entweder Silber 0, Zink + 12, oder Silber — 12, Zink 0, oder Silber — 6, Zink + 6 gab, führte zu der Vermuthung, daß auch bei andern electriſchen Zuſtänden, als dem natürlichen, jene Differenz in der Berührung beider Metalle ſtatt finden möge, und mit dieſer Vermuthung war, wenn ſie ſich beſtätigte, das Mittel zur Verſtärkung der bei einem Plattenpaare oder bei der einfachen galvaniſchen Kette ſo ſchwachen Electricität gefunden.

Bringt man nämlich auf die Zinkplatte Z (XIII. Fig. 35) eine Kupferplatte K, auf dieſe eine Platte angefeuchteter Pappe W und auf ſie eine zweite Zink- und eine zweite Kupferplatte Z', K', ſo muß, wenn jene für Zink und Kupfer geforderte Differenz auch bei andern Graden der Electricität immer dieſelbe bleibt, K' doppelt ſo ſtark negativ-electriſch ſeyn, als K, und dieſes muß ſich am Condenſator zeigen laſſen. Dieſe Ueberzeugung ſtützt ſich darauf, daß das untere mit der Erde in Verbindung ſtehende Zink für ſich einen beſtimmten Vorzug an poſitiver Electricität vor dem Kupfer fordert, daß alſo, da das untere Zink Z auf Null erhalten wird, das Kupfer K in dieſem beſtimmten Grade, den ich jetzt als — 1 anſehe, negativ iſt; die feuchte Schicht aber vermittelt zwiſchen K und Z' einen gleichen electriſchen Zuſtand und auch Z' iſt in dem Zuſtande — 1, das heißt, Z' hat einen Grad negativer

hervorgebracht wird, aber keineswegs der mächtigere Kreislauf der electriſchen Materien, der jene Wirkungen hervorbringt.

Electricität. Wird nun erſt K′ aufgelegt, ſo nimmt Z′ ihm ſogleich poſitive Electricität, und läßt nicht eher einen Ruheſtand der electriſchen Materien eintreten, bis das Zink ſeinen gehörigen Vorzug an poſitiver Electricität hat, das heißt, wie wir vermuthen dürfen, da die Leitung durch die unteren Schichten immerfort ſtatt findet, nicht eher bis K′ um 2 Grade negativ iſt. Unſre Vermuthung nimmt nämlich an, das Gleichgewicht finde ſtatt, wenn $K' = -2$, $Z' = -1$, $K = -1$, $Z = 0$ iſt, oder wenn die Ladungsdifferenz der ſich berührenden Electromotoren ihrer eigenthümlichen Natur gemäß iſt. Schließen wir nach eben dem Princip weiter für den Aufbau von vier Schichten (Fig. 35), ſo muß für $Z = 0$, $K = -1$, $Z' = -1$, $K' = -2$, $Z'' = -2$, $K'' = -3$, $Z''' = -3$, $K''' = -4$ ſeyn, weil der feuchte Leiter zwiſchen K, Z′, zwiſchen K′, Z″, zwiſchen K″, Z‴ die Gleichheit vermittelt.

Dieſe Schlüſſe waren hypothetiſch, — ſo muß es erfolgen, wenn der Lehrſatz richtig iſt, daß in jedem Falle die ſich berührenden Metalle, Zink und Kupfer, die beſtimmte Differenz fordern, — aber dieſe hypothetiſchen Schlüſſe beſtätigte nun Volta durch Prüfung jeder einzelnen Schichtung am Condenſator auf das vollkommenſte, und in ihrer Beſtätigung lag die Entdeckung der voltaiſchen Säule. Volta überſah jetzt, daß eine Schichtung von hundert Plattenpaaren die Wirkung auf das Hundertfache verſtärken müſſe, und es läßt ſich vollkommen einſehen, daß, während das Erſtaunen aller Phyſiker die Entdeckung der Säule als die unerwartetſte und überraſchendſte feierte, Volta mit voller Wahrheit ſagen konnte, die Wirkungen der Säule hätten ſeinen Erwartungen Genüge gethan, aber ihn nicht überraſcht, da die Reihe von Entdeckungen, auf welche die Entdeckung der Säule ſich gründete, ihm ſchon im Voraus den Erfolg verbürgte.

Achtundſechzigſte Vorleſung.

Voltaiſche Säule.

Die electriſche oder voltaiſche Säule, deren Entdeckung ich Sie neulich Schritt für Schritt zu verfolgen veranlaßt habe, beſteht, wie Sie aus dem Vorigen überſehen haben, in einer wiederholten Schichtung der drei Körper, aus denen wir die erſten Schichten hervorgehen ließen. Zwei Metalle, und zwar ſolche, die bei der Berührung recht bedeutende Zeichen von Electricität geben oder die in der Reihe der Electromotoren weit von einander entfernt ſind, und als dritter Körper eine naſſe Tuch- oder Pappſcheibe werden in immer gleicher Ordnung auf einander gelegt, und die Menge dieſer Plattenpaare beſtimmt den Grad der entſtehenden Electricität. Obgleich aber jeder feuchte Leiter die Stelle des dritten Körpers einnehmen kann, ſo iſt doch reines Waſſer weniger gut, als ein mit Säuren oder Salzen geſchwängertes Waſſer,

geſchickt, diejenigen Wirkungen hervorzubringen, welche am meiſten die Aufmerkſamkeit der Phyſiker erregten, nämlich die ſtarken körperlichen Empfindungen, die man bei der Schließung vielſchichtiger Säulen wahrnimmt, die chemiſchen Erſcheinungen u. ſ. w. Volta glaubte dieſe vollkommnere Wirkung einzig der beſſeren Leitung, welche die Säuren und Salze gewähren, zuſchreiben zu müſſen, und wenn auch nicht ganz allein in ihr die Urſache der ſtärkern Wirkung liegt, ſo trägt ſie doch mit dazu bei, und wir wollen für jetzt uns mit dieſer Auskunft befriedigen. [1]

Electriſche Spannung in der ungeſchloſſenen Säule.

Sobald die Säule bekannt wurde (am Ende des Jahres 1799), beſchäftigten ſich die Phyſiker mit allen den Eigenſchaften, wodurch ſie ſich auszeichnet; ich werde aber zuerſt bei denjenigen Unterſuchungen verweilen, die mit der Entdeckung im nächſten Zuſammenhange ſtehen, nämlich bei denen, welche die electroſcopiſchen Eigenſchaften betreffen. Volta hatte dieſe während des ganzen Fortganges ſeiner Unterſuchung beobachtet, aber für die übrigen Naturforſcher war es eine neue Beobachtung, daß wirklich der Zinkpol der Säule, dasjenige Ende nämlich, gegen welches zu man in der Ordnung Kupfer, Zink, feuchter Leiter fortſchreitet, poſitive Electricität, der Kupferpol negative Electricität darbot. Es war den Phyſikern eine neue Beobachtung, daß dieſe Electricität am Condenſator verſtärkt eben die Erſcheinungen, wie die gewöhnliche Electricität, darbot, daß man electriſche Flaſchen — wenn gleich ſehr ſchwach — durch ſie laden, [2] die Lichtenbergiſchen Figuren durch ſie darſtellen konnte u. ſ. w.

Wenn man die Säule auf einer iſolirenden Unterlage aufſtellte, ſo konnte man entweder die Electricität am obern Ende auf ihren vollen Grad ſteigen laſſen, wenn man dem untern Ende eine Ableitung gab, oder die Electricität des obern Endes auf die Hälfte herabſetzen, wenn man die Iſolirung des unteren Endes herſtellte. In dieſer ungeſchloſſenen Säule nämlich, wo keine Leitung außer der Säule ſelbſt die beiden Pole in Verbindung ſetzt, tritt der Ruheſtand der electriſchen Materien dann ein, wenn jede Zinkplatte ihren gehörigen Vorzug an poſitiver Electricität hat, und daß dieſes, wenn Kupfer unten, Zink darauf liegt und dann der feuchte Leiter das zweite Plattenpaar trennt, ſo geſchieht, daß die erſte Zinkplatte einen beſtimmten Grad, die Zinkplatte der zweiten Schichtung zwei Grade poſitiver Electricität erlangt, habe ich für den Fall, daß unten eine Ableitung ſtatt findet, ſchon früher angegeben. Berührt man aber oben und unten ableitend die Säule und überläßt ſie iſolirt ſtehend nun wieder ſich ſelbſt, ſo findet man von der Mitte aus die poſitive Ladung deſto ſtärker, je höher man hinaufgeht, die negative

[1] Die ſtärkere Wirkung wird, wie wir jetzt wiſſen, hauptſächlich auch durch die chemiſche Einwirkung des feuchten Leiters auf das poſitive der beiden Metalle bedingt. Am intenſivſten wirkt concentrirte Salpeterſäure. (M.)

[2] Wenn der feuchte Leiter gut leitet, ſo genügt eine augenblickliche Berührung zwiſchen den Polen der nicht iſolirten Säule und der innern Belegung einer Flaſche der Batterie, um die letztere vollſtändig zu laden. (M.)

deſto ſtärker, je tiefer man hinabgeht, ſo daß die Säule aus hundert Plattenpaaren nun Null in der Mitte, + 50 am Zinkende (welches ich als das obere annahm), — 50 am Kupferende zeigt, ſtatt daß ſie, unten mit Ableitung verſehen, oben + 100 angab. Setzt man irgend eine Mittelſchicht mit der Erde in Verbindung und läßt beide Enden iſolirt, ſo zeigt jedes Ende den Grad von Electricität, der ſeiner Schichtenzahl entſpricht. War z. B. in der Säule aus 100 Plattenpaaren, wo Kupfer unten, Zink oben iſt, die 70ſte Schicht von unten herauf abgeleitet, ſo mußte oben die + E 30 Grad und unten die — E 70 Grad haben, wenn wir mit dem Namen eines Grades immer die ſehr ſchwache Electricität bezeichnen, die ſich ſchon bei der aus einem Plattenpaare beſtehenden Kette zeigt. Dieſe Regel findet ſich, ſo weit die geringe Stärke der Electricität eine genaue Abmeſſung erlaubt, vollkommen beſtätigt.

Die trockene Säule.

Bisher habe ich immer den Leiter der zweiten Art als einen feuchten Leiter erwähnt, aber wenn es bloß auf Beobachtung der electroſcopiſchen Erſcheinungen ankommt, ſo laſſen ſich auch Papierſchichten anwenden, die wir trocken nennen, wenn ſie gleich dieß nicht im vollkommenſten Sinne ſeyn dürfen. Die große Veränderlichkeit, welcher die feuchten Säulen unterworfen ſind, ließ wünſchen, daß man eine Anordnung trockener Säulen finden möge, und Marechaux, Behrens und Andre hatten ſchon die Möglichkeit ſolcher Säulen gezeigt, als Zamboni eine ſehr paſſende Anordnung angab, die unter dem Namen Zamboni's Säule in allgemeinen Gebrauch gekommen iſt.

Dieſe trockne Säule beſteht aus eben ſolchen Schichtungen von unächtem Gold- und Silberpapier, wie vorhin die Metalle und der feuchte Leiter ſie darboten. Die Metallſeiten dieſer Papiere, deren Metall meiſtens Kupfer bei dem einen, Zink bei dem andern iſt, werden in Berührung gebracht, das anſcheinend trockene Papier vertritt die Stelle des feuchten Leiters, und wenn man alſo dieſe Doppelſchichten, deren jede nämlich ſchon aus unächtem Gold- und Silberpapier beſteht, ſo auf einander legt, daß immer dieſelbe Papierſorte zu unterſt kommt, ſo hat man eine richtig geordnete Säule, in welcher das Kupfer des Goldpapiers mit dem Zink des Silberpapiers in metalliſcher Berührung iſt, dann aber die Papiermaſſe des Silberpapiers und die daran anliegende Papiermaſſe des Goldpapiers die Stelle des Leiters der zweiten Art einnehmen. Damit die Metallflächen ſich innig berühren, werden die Papiere, nachdem ſie richtig geordnet ſind, mit Seidenfäden feſt zuſammengebunden. Dieſe Säulen, denen Zamboni durch einen Ueberzug von ſchwefelſaurem Zink an der einen und Braunſtein (Manganoxyd) an der andern Seite noch mehr Kraft gab, die man aber gewöhnlich bloß aus jenen Papieren bildet, laſſen ſich nun leicht zu mehreren tauſend Plattenpaaren aufbauen,[1] und ſie zeigen dann die Wirkungen des Anziehens und Abſtoßens vollkommen deutlich.

[1] Bechſtein in Altenburg conſtruirte einen Apparat dieſer Art (wohl den größten je

Stellt man zwei ſolche Säulen AB, CD (XIII. Fig. 36) neben einander, und zwar ſo angeordnet, daß in AB das Goldpapier mit ſeiner Metallſeite auf der Metallſeite des Silberpapiers liegt, in CD dagegen die umgekehrte Ordnung ſtatt findet, ſo iſt bei A das negative, bei C das poſitive Ende der Säule. Wenn die Kugeln E, F mit den obern Schichten der Säulen in guter Leitungs-verbindung ſtehen, ſo zeigen ſie dieſe beiden Electricitäten, und man pflegt zwiſchen ihnen das nur wenig oberhalb ſeines Schwerpunktes bei H unterſtützte Pendel GI aufzuſtellen, deſſen oberer Theil eine Metallkugel, die Stange IG dagegen Glas iſt; bringt man nun das Metall I mit E in Berührung, ſo wird es negativ und von E abgeſtoßen, zugleich aber von F angezogen, und das Pendel ſetzt ſich daher, wechſelsweiſe die obern Pole der Säulen ausladend, in eine oſcillirende Bewegung. Die Fortdauer dieſer Bewegung beruht darauf, daß in beiden Endpunkten durch die electromotoriſche Wirkung aller Schichten ſogleich, oder wenigſtens in einem kurzen Zeitverlaufe, diejenige Electricität wieder hervortritt, die jedem Pole der Säule zukommt. Damit dieſe Erneue-rung der Wirkung ſchnell genug eintrete, muß man die Platten ziemlich groß (3 Zoll im Durchmeſſer oder darüber) nehmen, und damit die Wirkung über-haupt ſtark genug ſey, muß man mehrere tauſend Plattenpaare anwenden. Mit 8000 Plattenpaaren hat man dem Pendel Kraft genug gegeben, um ein leichtes Uhrwerk zu treiben, das, ſo lange nicht Aenderungen in der Säule vorgehen (indem etwa durch zu viele Feuchtigkeit die Metalle ihren Glanz verlieren oder durch allzu ſtarkes Austrocknen die Leitung zu ſchwach wird), ſeinen Gang ziemlich gleichmäßig fortſetzt.

Wenn man jenes Pendel wegnimmt und bei E zwei Goldblättchen auf-hängt, ſo ſtoßen dieſe einander ab, und die Prüfung mit angenähertem Glaſe oder Siegellack zeigt, ob E die poſitive oder negative Electricität habe. Bringt man an E oder F eine iſolirte Metallſcheibe, ſo kann man mit dieſer die Electricität auf ein auch entfernter ſtehendes Electrometer übertragen. Stellt man den Knopf einer Verſtärkungsflaſche nahe an die bei E aufgehängten Goldblättchen, ſo ſieht man, wie dieſe ſich an dem Knopfe ausladen und dabei genau die Geſetze der gewöhnlichen Electricität befolgen. Steht nämlich die Flaſche iſolirt, ſo hören die Goldblättchen bald auf, durch ihr zuerſt immer erneuertes Annähern die Ladung fortzuſetzen; berührt man aber dann die äußere Belegung der Flaſche und zieht dadurch die innen entſtandene Ladung gegen die innere Oberfläche des Glaſes, ſo ſetzen die Goldblättchen ihr Zu-führen electriſcher Materie fort, und erſt nach langer Zeit, wenn nämlich die Flaſche ganz geladen iſt, hört, wofern unterdeß der äußern Belegung Ableitung gegeben wurde, die Fortſetzung der Ladung auf. Dieſe Ladung iſt nun aller-dings immer noch ſchwach; aber bei einer Säule von 2000 Plattenpaaren und einer Flaſche von 2 Quadratfuß Belegung iſt ſie doch hinreichend, um, wenn man die Finger, ehe man die äußere Belegung und den Knopf der Flaſche

ausgeführten) aus zwei Säulen, deren jede aus 10000 Scheiben Gold- und Silberpapier von 16 Quadratzoll Oberfläche beſtand. (M.)

berührt, ſtark mit ſalzigem Waſſer befeuchtet hat, bei der Ausladung mit ſo benetzten Fingern eine merkliche Empfindung, einen ſchwachen Schlag, zu geben. Mehr kann man nach der immer noch ſehr geringen Größe der electroſcopiſchen Erſcheinungen nicht erwarten.

Die vollkommene Ladung der trockenen Säule ſtellt ſich nicht, wie bei den feuchten Säulen, in einem Augenblicke her, ſondern die Zeit, welche dazu erfordert wird, iſt deſto größer, je kleiner die Papierſcheiben ſind. Bohnenberger bediente ſich zur Ladung einer electriſchen Flaſche von 59 Quadratzoll Belegung einer Säule von 4000 Doppelplatten, die nur 8 Quadratlinien groß waren, und bewirkte die Ladung erſt in 170 Minuten; dagegen brachten 2000 Doppelplatten von 432 Quadratlinien dieſe Ladung in 7 Minuten zu Stande und 4000 Doppelplatten würden daher nur $3\frac{1}{2}$ Minuten gebraucht haben; die 54mal ſo großen Papiere bewirkten alſo die Ladung in einer Zeit, die nur $\frac{1}{49}$ der Zeit betrug, deren die kleineren bedurften, und man irrt nicht ſehr, wenn man die Zeit umgekehrt proportional der Plattengröße und Plattenzahl ſetzt. Der Grund dieſer ungleich ſchnellen Ladung iſt auch ziemlich einleuchtend. Die Langſamkeit der Ladung beruht auf mangelhafter Leitung, und es finden ſich gewiß in der großplattigen Säule nach Verhältniß ihres Querſchnittes mehr gut leitende Punkte, alſo erfolgt hier ſchnellere Ladung.

Daß die hier ſtatt findende Wirkung dem Weſentlichen nach dieſelbe ſey, wie bei den feuchten Säulen, läßt ſich gar nicht bezweifeln, indeß haben Zamboni, Bohnenberger u. A. auch durch beſtimmte Verſuche nachgewieſen, daß eine mit naſſen Leitern aufgebaute Säule beim allmäligen Austrocknen zwar aufhört, chemiſche Wirkungen zu zeigen und auf das Gefühl zu wirken, aber fortfährt, die electriſche Spannung ebenſo wie früher, jedoch mit langſamerer Erneuerung, zu zeigen, ſo wie es die trockene Säule thut.

Da ich von den chemiſchen und phyſiologiſchen Wirkungen der feuchten Säule noch nichts geſagt habe, ſo könnte ich dieſe Wirkungen auch hier unerwähnt laſſen; indeß will ich doch kurz bemerken, daß ſehr vielſchichtige und großplattige trockene Säulen allerdings auch chemiſch wirken, daß ſie da, wo das Pendel an die Kugeln E F (Fig. 36) anſchlägt, einen im Dunkeln ſichtbaren Funken geben, und daß dieſe Wirkungen nur darum ſehr ſchwach bleiben, weil die Electricität ſich zu langſam erſetzt und der electriſche Strom in der geſchloſſenen Säule nicht ſchnell genug thätig iſt, um dieſe Wirkungen auffallender hervorzubringen.

Bohnenberger's Electrometer.

Hier findet nun endlich auch das höchſt empfindliche Electrometer ſeine Erklärung, deſſen man ſich gern ſogleich vom Anfange der Electricitätslehre an bedient. Es iſt von Behrens zuerſt angegeben, aber von Bohnenberger in der bequemſten Form dargeſtellt worden, und beſteht entweder (wie Fig. 37 zeigt) aus zwei trockenen electriſchen Säulen A B, C D, deren entgegengeſetzte Pole unten einander gegenüber liegen und zwiſchen denen ein leicht

bewegliches Goldblättchen herabhängt, oder (wie Fig. 38 zeigt) aus einer electriſchen trocknen Säule A B, von deren beiden Polen Leiter A C, B D hinaufgeführt ſind, um zur Anziehung und Abſtoßung des Goldblattes E F zu dienen. In beiden Fällen hängt das Goldblatt, nach der poſitiven und negativen Seite gleich ſtark angezogen, ruhig, ſo lange man ihm keine Electricität ertheilt; hat man ihm aber auch nur die ſchwächſte Electricität durch Mittheilung oder Vertheilung zugeführt, ſo bewegt es ſich ſchnell gegen den negativen Pol, wenn dieſe Electricität poſitiv war, und gegen den poſitiven Pol, wenn ſie negativ war. Bringt man auf den Leiter G einen Condenſator an, ſo dient dieſes Electrometer, nach der Ladung des Condenſators und dem Aufheben der obern Platte des Condenſators, um die allerſchwächſten Grade von Electricität kenntlich zu machen.

Bringt man die Leiter C, D (Fig. 38) einander ziemlich nahe, ſo iſt es kaum möglich, das Goldblatt zur Ruhe zu bringen, weil, bei der geringſten Abweichung von der Mitte, es nach der nähern Seite, auch ohne von außen her electriſirt zu ſeyn, angezogen wird, dann aber dort eine Ladung erhält und nach der andern Seite gezogen wird, wo dieſelbe Urſache zu einem neuen Uebergange nach jener abermals eintritt. Auch wenn die Entfernung zwiſchen C, D groß genug iſt, pflegt, wenn das Anſchlagen an einer Seite ſtatt gefunden hat, gern noch ein zweites an der andern zu erfolgen, daß aber das erſte Anſchlagen die Entſcheidung giebt, ob die dem Goldplatte ertheilte Electricität poſitiv oder negativ war, verſteht ſich von ſelbſt.

Verſchiedene Apparate, um die voltaiſche Verſtärkung der Berührungs-electricität zu bewirken.

Ich habe bisher nur von derjenigen Schichtung der verſchiedenen Plattenpaare, welche die Form der Säule giebt, geredet; aber da es nur darauf ankömmt, die zwei Metalle abwechſelnd mit einem feuchten Leiter in gleichmäßiger Ordnung in Wirkſamkeit zu bringen, ſo ſind mehrere andere Anordnungen möglich. Bei dem Aufbauen der Säule iſt das eine Unbequemlichkeit, daß, vorzüglich wenn man etwas ſtärker geſäuertes und geſalzenes Waſſer anwendet, ſchon während des Aufbauens, das bei größern Säulen nicht ſo ſchnell zu vollenden iſt, eine ſtarke chemiſche Wirkung auf die Metalle eintritt, wodurch die Platten Veränderungen erleiden, ferner daß die immer etwas ungleichen Papp- oder Tuchſchichten keine genaue Gleichheit geſtatten, daß das Austrocknen die dauernde Wirkſamkeit der Säule hindert u. ſ. w. Schon Volta gab daher unter dem Namen Becher-Apparat eine Anordnung an, die in Folgendem beſteht. Man ſtellt (XIV. Fig. 1) mehrere Gläſer A, B, C, D auf, in deren erſtes die mit dem Leitungsdrahte L verſehene Kupferplatte K geſetzt wird; ihr gegenüber ſteht in demſelben Glaſe die Zinkplatte Z, welche durch einen angelötheten Metalldraht M mit der zweiten Kupferplatte K verbunden iſt; dieſe zweite Kupferplatte ſteht in einem zweiten Glaſe und hat eine zweite Zinkplatte gegenüber, und ſo geht es durch ſo viele Gläſer, als man will,

fort. Werden nun alle Gläſer mit einer leitenden Flüſſigkeit gefüllt, ſo iſt die voltaiſche Kette fertig.

Um die Erſcheinungen bequem zu überſehen, nehme ich an, daß auch am letzten Leitungsdrahte l eine Kupferplatte k ſich befinde; dann giebt k an die im Glaſe D ſtehende Zinkplatte wegen der metalliſchen Berührung die dem Zink zukommende poſitive Electricität, die ich als + 1 anſehe. Ebendieſe electriſche Spannung wird durch die Flüſſigkeit der in eben dem Glaſe D ſtehenden Kupferplatte mitgetheilt, dieſe aber kann nicht + 1 an Electricität beſitzen, ohne daß die mit ihr in metalliſcher Berührung ſtehende, in C eingetauchte Zinkplatte + 2 an poſitiver Electricität habe; die Kupferplatte in C erhält durch die leitende Flüſſigkeit auch + 2, und kann nur dann eine Electricität von dieſer Spannung enthalten, wenn die Zinkplatte im Glaſe B + 3 hat; daß ebenſo die Zinkplatte im Glaſe A + 4 haben wird, erhellt von ſelbſt. Wäre bei K keine Verbindung mit der Erde, ſo würde das Geſetz der Verſtärkung daſſelbe bleiben, nur würde dann am einen Ende negative, am andern Ende poſitive Spannung hervortreten.

Ganz dieſer Anordnung ähnlich ſind die Zellen- und Trog-Apparate, wo in einer Reihe getrennter einzelner Zellen die Plattenpaare aufgeſtellt ſind. Sie müſſen aus Holz, Porcellan oder Glas ſeyn, damit das geſäuerte Waſſer jeder einzelnen Zelle durchaus nicht in leitender Verbindung mit dem Waſſer einer andern Zelle ſtehe, weil offenbar, wenn in das Waſſer einer Zelle mehrere Plattenpaare tauchten, dieſe alle nur einen und denſelben Grad electriſcher Ladung erhalten würden. Bei dieſen Apparaten aber hat man, vorzüglich nach Schweigger's und Wollaſton's Angabe, eine weſentliche Verbeſſerung angebracht, die bei den geſchichteten, verticalen Säulen nicht ſtatt findet. Es iſt ein ſpäter noch näher zu unterſuchender Erfahrungsſatz, daß man mit Vortheil beiden Seiten der Zinkplatte Kupferplatten gegenüber ſtellen kann und daß die Wirkung dadurch ungefähr dieſelbe wird, wie bei doppelt ſo vielen Plattenpaaren; wenn man daher entweder in jede Zelle eine Zinkplatte Z und eine dieſelbe von beiden Seiten umgebende Kupferplatte K (XIV. Fig. 2) eintaucht, oder auch kupferne Gefäße K, K′ ſo, wie Fig. 3 zeigt, neben einander ſtellt und in jedes Gefäß eine Zinkplatte taucht, dann aber die Verbindungen von Z nach K′, von Z′ nach K″, von Z″ nach K‴ u. ſ. w. zu Stande bringt, ſo hat man einen Apparat, der ſich vorzüglich gut zu Anſtellung der Verſuche eignet. In dieſen Trogapparaten muß das Zink außerhalb der Flüſſigkeit mit dem Kupfer in metalliſcher Berührung ſeyn, in der Flüſſigkeit hingegen müſſen die Platten nur einander gegenüber ſtehen, damit die electriſchen Ströme durch die Flüſſigkeit von der einen Platte zur andern übergehen. Aus dieſem Grunde richtet man die Zinkplatten ſo ein, daß ſie an der unmittelbaren Berührung gehindert werden; denn wenn (Fig. 2) Z nicht bloß mit K′, ſondern auch mit K in metalliſcher Berührung wäre, ſo hätten K und K′ gleiche electriſche Ladung.

Da es uns jetzt nur um einen oft wiederholten Wechſel der drei die Kette

bildenden Körper zu thun iſt, ſo übergehe ich hier noch diejenige Verbindung der Platten im Trogapparate, wo alle Platten gleich einem einzigen ſehr großen Plattenpaare angewandt werden, wovon ich bei den Wärmeerſcheinungen in der Schließung der Säule reden werde, ferner die Kaſten-, Kapſeln-, Schüſſel-Apparate u. ſ. w. [1]

Geſchloſſene voltaiſche Säule.

Welche von dieſen verſchiedenen Anordnungen des Apparates man nun auch anwende, ſo iſt der Zuſtand, ſowohl in der ungeſchloſſenen Säule als in der geſchloſſenen, in allen dieſen Apparaten übereinſtimmend; beide Zuſtände aber ſind ſehr weſentlich verſchieden. Alle bisherigen Betrachtungen betrafen nur die electriſche Spannung, die electroſcopiſchen Erſcheinungen, welche bei der ungeſchloſſenen und iſolirten Säule an beiden Polen um ſo ſtärker entgegengeſetzt hervortreten, je größer die Anzahl der Plattenpaare iſt; aber dieſe Kennzeichen der electriſchen Spannung hören ſogleich faſt gänzlich auf bei der Schließung der Kette. Bringt man nämlich an dem Zinkpole der Säule einen Metalldraht an und bringt dieſen mit dem Kupferpole in fortwährende Berührung, ſo muß offenbar (Fig. 4) die in Z angehäufte poſitive Electricität ſich durch Z M K nach K fortbewegen, und da in dem Augenblicke, wo dadurch die unterſte Kupferplatte in den Nullzuſtand verſetzt wird, die nächſte Zinkplatte wieder ihren Vorzug an poſitiver Electricität fordert, ſo geht der poſitiv-electriſche Strom nicht allein von Z durch M nach K, ſondern auch von K durch die Säule nach Z, ſo daß ein unaufhörlicher Kreislauf ſtatt findet, und ebenſo macht die negativ-electriſche Materie ihren Kreislauf in entgegengeſetzter Richtung in der geſchloſſenen Säule. Der Leiter ZMK heißt der Schließungsdraht, der ſchließende Leiter. Wird dieſer die Enden der Säule verbindende Leiter nicht als metalliſcher Leiter ohne Unterbrechung fortgeführt, ſondern der menſchliche Körper als Theil dieſes Leiters in die geſchloſſene Kette gebracht, ſo beobachten wir an der geſchloſſenen Säule die phyſiologiſchen Erſcheinungen, welche der electriſche Strom auf unſern Körper hervorbringt; macht ein flüſſiger Körper einen Theil des Leiters Z M K aus, ſo giebt dieß Gelegenheit zu Beobachtung der chemiſchen Wirkungen; läßt man den electriſchen Strom durch ſehr dünne Drähte übergehen oder auch durch die Luft überſchlagen, ſo erhält man die Erſcheinungen der Erhitzung, des Verbrennens, der Funken. [2]

Bei allen dieſen Erſcheinungen, welche die geſchloſſene Säule darbietet, können wir die Frage aufwerfen, wie ſie von der Anzahl der Plattenpaare, wie ſie von der Größe der Platten, wie ſie von der ungleichen Wirkſamkeit des feuchten Körpers in der Säule, endlich wie ſie von der Beſchaffenheit des die Schließung bewirkenden Leiters ſelbſt abhängen. Eigentlich käme auch noch

[1] Die verticale Säule kommt jetzt nur noch ſelten in Anwendung.

[2] Nach Faraday's Vorgange nennt man die Pole als die Wege, durch welche der electriſche Strom ein- und austritt, Electroden, den einen die poſitive, den andern die negative. (M.)

die Frage hinzu, wie ſie von der Wahl der beiden verſchiedenen Metalle abhängen, aber dieſe übergehe ich, da bei ganz gleicher Einwirkung des flüſſigen Leiters die Wirkſamkeit wohl genau dem Maaße der electromotoriſchen Thätigkeit angemeſſen ſeyn würde; ich werde daher auch faſt immer nur von Zink und Kupfer, als den beiden in Anwendung gebrachten Metallen, reden, da ſchon aus dem Vorigen erhellt, daß Zink und Platin oder gar Zink und Manganoxyd noch wirkſamer, Kupfer und Silber dagegen nur in ſehr ſchwachem Grade wirkſam ſeyn würden und folglich ſich leicht auf die Wirkung jeder Säule ſchließen läßt, die aus dieſen Körpern beſtände. [1]

Conſtante Ketten.

Höchſt bedeutende und wichtige Vorzüge beſitzen die in neuerer Zeit in Aufnahme gekommenen ſogenannten conſtanten Ketten, die ſich durch das Gleichbleiben ihrer Wirkung auszeichnen, während bei allen bisher üblichen Apparaten aus Gründen, die erſt ſpäter erklärt werden können, die Wirkung ſehr ſchnell abnimmt. Eine conſtante, d. h. lange Zeit in faſt ganz unverminderter Stärke fortdauernde Wirkung wird dadurch erreicht, daß man auf beide Metalle ſtatt einer Flüſſigkeit zwei verſchiedene Flüſſigkeiten wirken läßt, welche durch eine poröſe Scheidewand (von thieriſcher Blaſe, Pergament, Papier, Spritzenſchlauch, unglaſirtem Thon, Biscuitporcellan u. ſ. w.) getrennt ſind, die zwar ihre Miſchung, aber nicht ihre Berührung und den Durchgang des electriſchen Stroms hindert. Auf das poſitive Zink läßt man, wie bisher, verdünnte Schwefelſäure wirken, auf das negative Metall aber, wenn es Kupfer iſt, gewöhnlich eine Auflöſung von Kupfervitriol. Als Erfinder dieſer conſtanten Ketten wird Becquerel genannt, welcher einen hohlen Kupfercylinder mit einer durch concentrirte Kupfervitriolauflöſung gefüllten Blaſe, dieſe aber mit einem hohlen Zinkcylinder umgab und beide in ein Gefäß von Glas oder Porcellan tauchte, das verdünnte Schwefelſäure oder eine Auflöſung von Zinkvitriol oder Kochſalz erhielt. Zweckmäßiger hat man die Daniell'ſche Batterie gefunden, die eigentlich nur eine Umkehrung der vorigen, aber ungleich bekannter geworden iſt. Hier befindet ſich der (maſſive oder hohle) Zinkcylinder innerhalb, der hohle Kupfercylinder außerhalb. Nach der jetzt gewöhnlichſten Conſtruction beſteht jedes Element (ſ. den Verticaldurchſchnitt X. Fig. 5) aus einem cylindriſchen Gehäuſe a von Kupferblech oder irgend einem andern haltbaren Material, das oben eine Erweiterung hat. In dieſes Gehäuſe paßt ein zweiter völlig gerader, hohler Cylinder c von Kupferblech; in dieſen kommt wieder ein von Blaſe oder Spritzenſchlauch durch Umbinden um die Holzringe d, d gebildeter poröſer Cylinder, endlich in dieſen der Zinkcylinder e, der am beſten ebenfalls hohl iſt. Der poröſe Cylinder wird mit verdünnter Schwefelſäure oder Kochſalzlöſung, der Raum zwiſchen c und d aber mit concentrirter Kupfervitriolauflöſung gefüllt; um die letztere ſtets geſättigt zu erhalten, befinden ſich in der obern Erweiterung von a Kupfervitriolcryſtalle,

[1] Das Zink wirkt beſſer, wenn es auf der Oberfläche etwas amalgamirt iſt. (M.)

welche durch den durchlöcherten Ring bb zurückgehalten werden. Jeder Kupfer- und jeder Zinkcylinder iſt mit einem angelötheten Drahte verſehen, welcher oben ein Queckſilbernäpfchen f trägt; mittelſt dieſer Näpfchen wird durch eingetauchte, rechtwinkelig umbogene Drähte das Zink des einen mit dem Kupfer des folgenden Elements verbunden.

Grove hat an die Stelle des Kupfers Platin geſetzt, das ſich in concentrirter Salpeterſäure befindet (ſ. X. Fig. 6, welche den Durchſchnitt eines Elements von der jetzt beliebten Form vorſtellt). In dem Glasgefäße a ſteht der Zinkcylinder b, in dieſem das poröſe Thongefäß c, in dieſem der Platincylinder d, dann folgt wieder ein poröſes Gefäß e, in welchem der zweite Zinkcylinder f ſteht. Hier werden alſo beide Seiten des Platincylinders — was jedoch an ſich unweſentlich iſt — erregend benutzt. Zur Verbindung der Elemente dienen die mit Queckſilber gefüllten Näpfchen g; mittelſt dieſer verbindet ein Draht den äußern und innern Zinkcylinder deſſelben Elements, ein anderer den äußeren Zinkcylinder dieſes mit dem Platincylinder des folgenden Elements. Eine ſolche Batterie thut ſchon bei ſehr wenigen Elementen große Wirkung, nur ſteht der hohe Preis des Platins ihrer Verbreitung im Wege, da die bloß platinirten Porcellancylinder ihren dünnen Platinüberzug ſehr bald verlieren. Indeß kann das Platin durch Kohle oder Eiſen erſetzt werden, von denen erſtere dem negativen Ende der Spannungsreihe noch näher ſteht, als Platin. Die von Bunſen angegebene Zinkkohlenbatterie beſteht nach ihrer neueſten und beſten Conſtruction (X. Fig. 7) in einem Zinkcylinders, der in einem Glaſe a ſteht, ſelbſt aber ein poröſes Thongefäß c umſchließt; in dieſem ſteht, von concentrirter Salpeterſäure umgeben, ein maſſiver Cylinder d, von einer Kohle, welche durch Glühen einer Miſchung von fein pulveriſirtem ausgeglühtem Coke und ebenfalls pulveriſirter, möglichſt backender Steinkohle erhalten wird. Der Raum zwiſchen a und c enthält verdünnte Schwefelſäure. Die Verbindung des Kohlencylinders mit dem Leitungsdrahte e wird durch einen Kupferring oder noch beſſer ein Platinhütchen hergeſtellt, die des Leitungsdrahts e mit dem vom Zinkcylinder des nächſten Elements aufſteigenden Drahte f durch eine Klemme g, doch läßt ſich die ſo bequeme Verbindung durch Queckſilbernäpfchen und eingetauchte Drähte auch hier anbringen. Eine Batterie von 6 Elementen, deren Kohlencylinder 4 Zoll hoch und 1 bis 1½ Zoll dick ſind, dürfte für die meiſten Fälle ausreichen, ja für viele ſchon ein einziges Element. (Bei der älteſten Conſtruction dieſer Batterie war gar kein poröſer Cylinder vorhanden, ſondern in dem Zinkcylinder ſtand ein ausgehöhlter Kohlencylinder, in deſſen mit Sand gefüllte Grube Salpeterſäure gegoſſen wurde.) — Endlich hat Poggendorff eine Kette aus Gußeiſen und Zink conſtruirt, von denen erſteres in Kalilauge ſtand.

Für alle ſpäter zu erwähnenden techniſchen Zwecke können keine andere als ſolche conſtante Ketten angewandt werden. Die im Vorigen beſchriebene concentriſche Form iſt für die techniſche Anwendung am bequemſten und billigſten; den damit verbundenen Nachtheil, daß die wirkende Fläche des innerſten

Cylinders kleiner als die des äußern iſt, kann man dadurch beſeitigen, daß man dem inneren Cylinder einen ſternförmigen Querſchnitt giebt.

Phyſiologiſche Wirkungen.

Die Anordnung der Betrachtungen, welche ſich auf die verſchiedenen Wirkungen der Säule beziehen, hat einige Schwierigkeit, da die Betrachtung der einen Wirkung ſo nahe mit der Betrachtung der andern verwandt iſt; ich muß Sie daher um Verzeihung bitten, wenn ich zuweilen eine Bemerkung mache, die erſt ſpäter ihre volle Erklärung findet.

Die phyſiologiſchen Wirkungen waren es, die nach der Entdeckung der voltaiſchen Säule zuerſt das Erſtaunen der Phyſiker erregten, da man die früher beobachteten ſehr ſchwachen Einwirkungen auf die Sinne hier in unerwartet ſtarkem Maaße geſteigert ſah. Schon früher, bald nach den erſten galvaniſchen Verſuchen, hatte Volta auf zwei durch Silber und Zink vermittelſt der einfachen galvaniſchen Kette hervorgehende Einwirkungen auf die Sinnesorgane aufmerkſam gemacht. Man nimmt nämlich einen eigenthümlichen Geſchmack auf der Zunge wahr, wenn man das eine Ende eines Silberſtäbchens an die untere Seite der Zunge und das eine Ende eines Zinkſtäbchens an die obere Seite der Zunge bringt, dann aber die beiden andern Enden der Metalle mit einander in Berührung bringt; und ebenſo läßt das Auge uns die Wirkung des electriſchen Stromes gewahr werden, wenn man jene beiden Metalle mit beiden Augenwinkeln in Berührung bringt, indem dann, wenn die beiden andern Enden der Metalle ſich berühren, vor dem geſchloſſenen Auge eine ſchwache Lichterſcheinung vorübergeht. Statt dieſer Erſcheinungen bietet aber die Säule nun viel ſtärkere und auffallendere dar.

Berührt man mit benetzten Fingern die beiden Pole einer Säule, die aus 50 oder mehr Plattenpaaren beſteht, ſo empfindet man im Augenblicke der erſten Schließung der Kette einen bei kleinen Säulen bloß in den berührenden Fingern, bei größern Säulen auch bis zu entferntern Theilen der Hand und des Armes fühlbaren Schmerz, der auch während der dauernden Schließung, wegen der in jedem Augenblicke wechſelnd mehr oder minder innigen Berührung, fortdauert. Die Empfindung iſt, wenn man auch an beiden Polen auf ganz gleiche Weiſe berührt, ungleich an beiden Polen, und man hat dieſe Ungleichheit dadurch zu beſchreiben geſucht, daß man ſagte, die Empfindung am negativen Kupferpole ſey ſo, als ob der Finger von der Seite her nach allen Richtungen ſchneidend durchdrungen werde, am poſitiven Zinkpole ſey dagegen die Empfindung dumpfer, als ob der Finger eingeengt ſey. Ritter glaubt bei dauernder Schließung der Säule am negativen Pole das Gefühl der Kälte, am poſitiven Pole ein Gefühl von Wärme bemerkt zu haben; aber hierin ſtimmen andere Beobachter nicht ganz ein, und ich ſelbſt, obgleich ich jene erſte Beſchreibung der Empfindung nicht unpaſſend finde, habe doch in Beziehung auf Wärme und Kälte keinen ſo entſchiedenen Gegenſatz finden können. Ritter fand hier überall genaue Gegenſätze, theils in den

Sinneserſcheinungen, welche beide Pole bei dem Schließen der Kette darbieten, theils in den Empfindungen, die an demſelben Pole beim Schließen und Oeffnen der Kette vorkommen; ſo ſtreng kenntlich ſcheinen mir dieſe Gegenſätze nicht, obgleich wohl allerdings das richtig iſt, daß beim Oeffnen der Kette durch die Lebensthätigkeit der Organe das Gefühl eines Zuſtandes hervortritt, der ſich als dem durch jenen unnatürlichen Reiz erregten entgegengeſetzt der Empfindung darbietet. Auf der Zunge giebt der vom poſitiven Pole herkommende Draht einen ſauern, ſtechenden Geſchmack, der vom negativen Pole herkommende Draht einen alcaliſchen; über den Urſprung dieſes Geſchmacks aus der anfangenden Zerſetzung der Feuchtigkeiten auf der Zunge geben die chemiſchen Erſcheinungen noch mehr Aufſchluß; daß aber beim Oeffnen der Kette ſich die entgegengeſetzte Geſchmacksempfindung wahrnehmen läßt, muß gewiß aus der eben erwähnten Gegenwirkung des Organs erklärt werden. Der Lichtblitz vor dem Auge zeigt ſich bei einer mäßigen Anzahl Plattenpaare ſchon deutlich, wenn man zwei von beiden Polen ausgehende Leiter an benetzte Stellen der Schläfe bringt.

Von Humboldt, Ritter, Moſt und Andre haben eine große Menge hierher gehöriger Verſuche angeſtellt, die ich nicht weiter anführe, da für die Geſetze der electriſchen Erſcheinungen ſelbſt wenig belehrende Folgerungen daraus hervorgehen. Merkwürdig ſcheint mir indeß der Beweis, den Marianini für den Satz, daß die Zuckung der Froſchſchenkel beim Wiederöffnen der Kette nicht von einem Zurückſtrömen der Electricität herrührt, aufgeſtellt hat. Allerdings nämlich zeigt der Froſchſchenkel auch beim Oeffnen der Kette eine Zuckung, und dieſes glaubte man durch ein Zurückſtrömen der Electricitätsſtröme erklären zu müſſen; Marianini bemerkt aber, daß dieſes Zucken faſt ebenſo eintrete, wenn man die Kette nicht unterbricht, ſondern durch eine zweite Schließung den Strom bloß bei dem Froſche vorbei leitet; indeß geſteht er zu, daß vielleicht in den thieriſchen Theilen ſelbſt einige angehäufte Electricität ſeyn könne, die beim Unterbrechen oder beim Vorbeileiten des Stromes eine eintretende Veränderung des electriſchen Zuſtandes zur Folge haben kann.

Es gehörte wohl hieher, etwas von der Einwirkung des voltaiſchen Stromes und der Berührungsſchläge auf die Geſundheit zu ſagen; aber der Gegenſtand ſcheint noch viel zu wenig erörtert, als daß man eine andere Regel als die, nur ja keine zu ſtarken Wirkungen in irgend einem Falle anzuwenden, geben könnte. Ich gehe dagegen zu einigen Bemerkungen über die Urſachen dieſer phyſiologiſchen Wirkungen und über die Umſtände, welche ihre Stärke beſtimmen, über.

Abhängigkeit der phyſiologiſchen Wirkungen von der Zahl und Größe der Platten und von der Leitung.

Um zuerſt die unerwartete Verſchiedenheit zu erklären, die ſich zwiſchen der Säule und der gewöhnlichen Electricität darin zeigt, daß jene bei kaum bemerkbarer electroſcopiſcher Einwirkung doch ſo empfindliche Schläge giebt, ſcheint folgende Bemerkung am meiſten geeignet. Es iſt bekannt, daß man die

größte Batterie an einer Electriſirmaſchine nicht ſtärker — ja kaum ſo ſtark — laden, das iſt, das Electrometer nicht zu höherem Steigen bringen kann, als eine kleinere Flaſche, und dennoch kann die Wirkung jener furchtbar ſeyn, während die Wirkung dieſer geringfügig iſt; wir ſehen alſo, daß es bei der Empfindung, die der gewöhnliche electriſche Schlag erregt, nicht auf die Spannung allein, mit welcher die Electricität überzugehen ſtrebt, ſondern auch ganz vorzüglich auf die Menge der in einem ſehr kurzen Zeitraume übergehenden Electricität ankömmt, daß alſo eine ſehr große Batterie nur zu einem ſehr ſchwachen Grade geladen zu ſeyn brauchte, um die empfindlichſten Schläge zu geben. Dieſe Bemerkung leitet zu dem Schluſſe, daß die Menge der electriſchen Materien, welche ſich in einer gut aufgebauten, die Leitung der Electricität ſtark befördernden Säule durch dieſe fortbewegt, ungemein groß ſeyn muß, und hierauf bezieht ſich Volta's Vergleichung der electriſchen Säule mit einer unendlich großen, aber ſehr ſchwach geladenen Batterie. Die feuchte Säule iſt, ſo lange ſie ſich in völliger Wirkſamkeit befindet, ſo ſehr geeignet, den unausgeſetzteſten und lebhafteſten electriſchen Strom hervorzubringen, daß ſie uns in jedem Augenblicke einen neuen Stoß giebt, und alſo ſo wirkt, wie eine ſehr große, ſich immer wieder ladende Batterie. Da die trockene Säule eine viel zu träge Durchleitung der electriſchen Ströme geſtattet, ſo kann ſie eben ſo wenig als eine ſo ungemein ſchwach geladene und dabei kleine Flaſche auf das Gefühl wirken.

Daß aber mit vermehrter Spannung auch die phyſiologiſchen Wirkungen zunehmen, das heißt, daß Säulen aus vielen Plattenpaaren wirkſamer ſeyn müſſen, verſteht ſich wohl von ſelbſt, und wirklich nimmt auch, wie es ſcheint unbegrenzt, die Stärke der Schläge mit der Anzahl der Plattenpaare zu. In genauem Verhältniſſe mit der Anzahl der Plattenpaare kann indeß die Wirkung wohl nicht ſtehen, weil bei vielplattigen Säulen auch der Widerſtand offenbar zunimmt, den der electriſche Strom leidet; aber wenn deshalb auch nicht bei 500 Plattenpaaren die ohnehin ſchwer abzumeſſende phyſiologiſche Wirkung 5mal ſo groß als bei 100 Plattenpaaren iſt, ſo iſt die Zunahme der Wirkung dennoch groß genug. Der Widerſtand iſt viel geringer, wenn die feuchten Leiter nicht aus Waſſer allein, ſondern aus mehr oder minder ſtarken Auflöſungen von Salz, am liebſten noch verbunden mit Säuren, beſtehen, und es iſt daher natürlich, daß die phyſiologiſchen Wirkungen durch die Wahl ſolcher feuchter Leiter ſehr geſteigert werden.

Man hat eine Zeit lang in dem Irrthume geſtanden, daß große Platten bei gleicher Anzahl keine ſtärkere Schläge geben, als kleine; aber es iſt offenbar, daß der durch 10 Quadratzoll Oberfläche bewirkte electriſche Strom zehnmal ſo mächtig, als der durch 1 Quadratzoll bewirkte ſeyn muß, daß alſo großplattige Säulen, wenn zugleich der Platten viele ſind, ganz gewiß wirkſamer ſeyn müſſen. Jener Irrthum entſtand daher, daß man die Pole der Säule ſo berührte, daß in der Schließung ſelbſt zu viel Widerſtand war und die in hinreichendem Reichthum vorhandene electriſche Materie doch nur einen

minder raſchen Strom bilden konnte. Wenn man beide Enden einer ſehr großplattigen Säule mit einem ſehr dünnen Drahte berühren wollte, ſo würde der electriſche Strom genau ſo aufgehalten werden, wie der Waſſerſtrom, der durch ein einziges Haarröhrchen hervordringt; bei dieſem bewirkt ein höherer Waſſerſtand, bei jenem ein höherer Spannungsgrad der Electricität (eine Vermehrung der Plattenpaare) eine Zunahme der Geſchwindigkeit, aber die Größe des Waſſervorraths hilft dort ſo wenig als hier die Größe der Platten. Eben dieſe gehinderte Leitung findet ſtatt, wenn man mit unvollkommen befeuchteten Händen oder nur mit der Fingerſpitze berührend die Electricität aufnimmt, und in dieſen Fällen iſt es alſo wahr, daß großplattige Säulen ohne Nutzen angewendet werden; wenn man dagegen mit großen Metallſtücken, die man mit der naſſen Hand recht umfaßt, die Pole der Säule berührt, oder wenn man die Hände in zwei mit geſäuertem Waſſer gefüllten Gefäßen untertaucht, und ſtarke Leiter von beiden Polen der Säule in beide Gefäße taucht und abwechſelnd wieder zurückzieht, ſo bemerkt man den Vorzug der großplattigen Säulen.

Obgleich aber der vermehrte Widerſtand in den die Schließung bewirkenden Leitern ſo ſehr zu Verminderung der Wirkung beiträgt, ſo kann man doch auch den Schlag der voltaiſchen Säule durch viele Perſonen, die ſich mit naſſen Händen anfaſſen, durchleiten, wobei freilich der Schlag an Stärke verliert. Auch durch andere lange Leiter wird doch der Schlag nicht allzu ſehr geſchwächt, und Erman hat auf der Havel den Schlag durch 130 Fuß Draht und 130 Fuß Waſſer nur wenig geſchwächt empfunden, als er den einen Pol der Säule mit dem Waſſer in Verbindung ſetzte, den andern mit einem langen Drahte verſah, und dann iſolirt in 130 Fuß Entfernung ſtehend den Draht und das Waſſer zugleich berührte. Buſſe hat eine ähnliche Leitung 4000 Fuß weit angebracht.

Die Größe des Widerſtandes bei der Hinüberleitung zum menſchlichen Körper iſt auch gewiß die Urſache, warum Säulen aus wenigen Plattenpaaren gar keine Empfindung geben, wenn auch die Platten noch ſo groß ſind. Es iſt nämlich eine gewiſſe Spannung (man darf wohl die, welche 20 bis 30 Plattenpaaren Zink und Kupfer bei einer Befeuchtung der Zwiſchenſchichten mit geſäuertem Waſſer entſpricht, als die durchaus erforderliche anſehen) nothwendig, um irgend eine Wirkung, die man electriſchen Schlag nennen könnte, hervorzubringen, indem bei geringerer Spannung die Electricität den Widerſtand beim Uebergange auf den menſchlichen Körper gar nicht zu überwinden vermag.

Säulen von 200 bis 250 Plattenpaaren geben bei Berührung mit naſſen Händen eine recht empfindliche Wirkung, zumal wenn ſie mit ſtark geſäuertem oder geſalzenem Waſſer aufgebaut ſind. Gay-Lüſſac fand bei einer Säule von 600 Plattenpaaren, jede Platte 120 Quadratzoll groß, wo zur Befeuchtung der Zwiſchenlagen Waſſer mit $\frac{1}{10}$ Salzſäure und $\frac{1}{70}$ Schwefelſäure angewandt wurde, die Schläge mit naſſen Händen kaum erträglich. Grimm

tödtete mit einer Säule von 500 Plattenpaaren einen Bergfinken, indem er ihn 25 Minuten lang dem Strome der Kette ausſetzte. Säulen von 2000 Plattenpaaren geben, ſelbſt mit trockenen Händen angefaßt, Schläge, die kaum zu ertragen ſind und durch 50 Perſonen, die ſich mit trockenen Händen anfaſſen, fühlbar bleiben.

Die electriſchen Fiſche.

Aehnliche Wirkungen, wie dieſe, welche die electriſche Säule hervorbringt, wahrſcheinlich auch auf ähnlichen Geſetzen beruhend, hat man ſchon lange an den electriſchen Fiſchen gekannt, ja einer derſelben, der Zitterrochen, iſt ſchon den Alten bekannt geweſen. Dieſe Fiſche, unter denen der im mittelländiſchen Meere und im atlantiſchen Ocean lebende Zitter- oder Krampfrochen, der in den Landſeen von Südamerica lebende Zitteraal oder ſurinamiſche Aal und der in den africaniſchen Flüſſen (Nil, Niger u. ſ. w.) vorkommende Zitterwels am bekannteſten ſind, beſitzen die Kraft, electriſche Schläge zu ertheilen; und da ſich in ihnen ein ſonſt nirgends vorkommendes Organ findet, das aus Schichtungen, die der voltaiſchen Säule ähnlich ſind, beſteht, ſo vermuthen wir nicht ohne Grund, daß ihre electriſche Wirkſamkeit auf ähnlichen Geſetzen, wie die der Säule, beruhe. Freilich ſind es hier nicht Schichtungen von ſolchen Körpern, deren electromotoriſche Thätigkeit wir nachweiſen könnten, ſondern es ſind Häute und Flüſſigkeiten, ſo wie wir ſie ſonſt im thieriſchen Körper finden; aber die zu dieſem Organe gehenden ſtarken Nerven mögen hier die Ladung deſſelben bewirken. Dieſes Organ beſteht bei dem Zitterrochen aus rundlichen oder polygonalen Säulchen, die, aus Häuten, zwiſchen denen ſich eine Flüſſigkeit befindet, zuſammengeſetzt, von der unteren Seite des Körpers bis an die obere reichen und deren jedes aus einer Menge auf einander geſchichteter, durch klebrige Schleimſchichten von einander getrennter, feiner Blättchen beſteht; es ſtehen viele dieſer Säulen (gewöhnlich 400—500) neben einander, ſo daß man bei großen Rochen über 1000 (bei einem 4½ Fuß langen 1184) gezählt hat. (S. X. Fig. 8.) Bei dem Zitteraale liegt das Organ in dem ſehr langen Schwanze und nimmt drei Viertel der oft bis auf 6 Fuß gehenden Länge des Fiſches ein; es gleicht in ſeiner geſchichteten Bildung dem Organe des Zitterrochen, nur laufen die Säulchen hier in der Richtung des Schwanzes fort.[1]

Dieſe Fiſche beſitzen die Fähigkeit, nach Willkür Schläge, den electriſchen ähnlich, zu geben; Volta vergleicht die des Rochen mit den Schlägen einer voltaiſchen Säule von 60 Plattenpaaren, die Schläge der Aale müſſen aber weit heftiger ſeyn, da ſie Pferde durch Berührung am Bauche ſo empfindlich verletzen können, daß dieſe niederſtürzen. Daß dieſe Schläge von den Fiſchen willkürlich ertheilt werden, erhellt daraus, daß man den Fiſch in den Händen halten kann, ohne einen Schlag zu erhalten, daß er mancherlei Bewegungen

[1] Die erſten genauen Unterſuchungen über die electriſchen Wirkungen beider Fiſche, beſonders des Zitterrochens, hat Walſh im J. 1774 angeſtellt. (M.)

machen kann, ohne einen Schlag zu ertheilen, daß er dagegen dieſen unter ganz gleichen Umſtänden zuweilen plötzlich und oft wiederholt (bis 50mal in einer Minute) ertheilt.

Befindet ſich der Zitterrochen in der Luft, ſo erhält man einen Schlag, wenn man irgend einen Theil ſeiner Haut direct oder mit einem guten Leiter berührt. Wenn man ihn nur an einer Seite berührt, ſo erhält man nur matte Schläge, ſtärkere dagegen, wenn man beide Seiten berührt. Liegt der Fiſch auf einer metallenen Schüſſel, ſo hat man vom Schlage nichts zu fürchten, wenn man bloß die Schüſſel berührt; aber wenn man dieſe berührt und zugleich die obere Seite, ſo kann man den Schlag vollkommen ſtark erhalten. Dagegen wenn die obere Seite mit einer Metallplatte bedeckt iſt, welche mit jener Schüſſel in metalliſch leitender Verbindung ſteht, ſo kann man beide Metallplatten berühren, ohne die Wirkung des Schlages zu empfinden; es erhellt alſo, daß der Leiter für die Electricität hier eine ebenſo gegen die Schläge ſichernde Schließung bewirkt, wie es bei der Schließung der voltaiſchen Säule der Fall iſt, deren electriſcher Strom durch einen Metalldraht hinreichende Ableitung findet. Der Schlag wird mehreren (bis 20) Perſonen zugleich ertheilt, wenn ſie, ſich bei den Händen faſſend, die Schließung, welche von der oberen Seite nach der untern geht, bilden. Im Waſſer ſind die Schläge immer ſchwächer als in der Luft, doch hat man beobachtet, daß der Zitterrochen bis auf einige Entfernung kleine Fiſche durch ſeinen Schlag tödtet oder wenigſtens betäubt. — Der Zitteraal, deſſen electriſche Kraft noch viel größer iſt, giebt im Waſſer ſeinen Schlag bis zu bedeutenden Entfernungen.

Der Zitterrochen muß ein eigenthümliches Gefühl für die Leitung, die den Schlag möglich macht, haben, wenigſtens ſcheint dieß aus folgendem, von Walſh angeſtellten Verſuche zu erhellen. Walſh führte zwei Metalldrähte aus dem Gefäße mit Waſſer, worin der Fiſch ſich befand, zu zwei andern mit Waſſer gefüllten Gefäßen; waren nun die letztern durch Leiter verbunden, ſo kam der Fiſch gern zu den Metalldrähten heran, um den Schlag zu ertheilen, aber er zeigte keine Neigung, den Schlag zu ertheilen, wenn dieſe Leitung unterbrochen war.

Der Schlag geht ſo ſchwer durch den geringſten mit Luft gefüllten Zwiſchenraum über, daß man faſt durchaus keinen Funken ſieht; nur wenn die Unterbrechung des leitenden Metalles äußerſt gering iſt, kann man im Dunkeln den Funken erkennen. Die hier wirkſame Electricität iſt alſo von äußerſt geringer Spannung, ſo daß jedes Hinderniß der Leitung den Uebergang vollkommen aufhält; da ſie aber dennoch ſo mächtig wirkt, ſo muß die Menge der in Thätigkeit geſetzten Electricität wohl ſehr groß ſeyn.

Am Electrometer oder mit Hülfe des Condenſators kann man gewöhnlich keine Spur von Electricität gewahr werden, ohne Zweifel deswegen, weil hier keine dauernde Ladung, ſondern nur eine plötzliche Erzeugung von Electricität ſtatt findet, und weil der Fiſch keine Electricität hervorbringt, wenn,

wie es beim Condenſator geſchehen muß, die Leitung unterbrochen iſt. [1] Eben dieſe nur momentane Erregung der Electricität, wobei aber die Menge der in Bewegung geſetzten electriſchen Materie ſehr groß iſt, mag auch, wie H. Davy glaubt, die Urſache ſeyn, warum der electriſche Schlag des Zitterrochens in der Regel keine electromagnetiſchen, ſo wenig als chemiſche Wirkungen zeigt. Es iſt jedoch J. Davy gelungen, mittelſt der Electricität des Zitterrochens die Magnetnadel abzulenken, Stahlnadeln zu magnetiſiren und chemiſche Wirkungen hervorzubringen, ſo daß die Identität jener mit der Reibungs- und Berührungselectricität erwieſen iſt.

Neunundſechzigſte Vorleſung.

In der Reihe neuer Entdeckungen, zu welchen Volta's Säule Veranlaſſung gegeben hat, nehmen diejenigen, welche die chemiſchen Wirkungen betreffen, einen vorzüglichen Platz ein, und ſo wie wir es neulich ſehr belehrend fanden, Volta bei jedem einzelnen Fortſchritte ſeiner Entdeckungen zu folgen, ſo werden wir hier vorzüglich Davy's philoſophiſchen Sinn in der Wahl des richtigen Weges zu neuen Entdeckungen zu bewundern haben.

Waſſerzerſetzung durch die voltaiſche Säule.

Doch nicht Davy, ſondern Carlisle und Nicholſon waren die erſten, welche eine chemiſche Wirkung der Säule wahrnahmen und die erſten Unterſuchungen darüber anſtellten. Sie bemerkten in einem auf der letzten poſitiven Platte der Säule liegenden Waſſertropfen ein Entſtehen von Bläschen, als der die Schließung der Säule bewirkende Draht den Waſſertropfen berührte; die damals ſchon lange bekannte Erfahrung von der bei ſo manchen Veranlaſſungen ſtatt findenden Waſſerzerſetzung ſchien ihnen die Erklärung der Erſcheinung darzubieten, die auch bald in fernern Verſuchen ihre völlige Beſtätigung fand. Um dieſe Waſſerzerſetzung und ebenſo andere chemiſche Wirkungen in Flüſſigkeiten hervorzubringen, bedient man ſich oft nur der einfachen Glasröhre EF (XIV. Fig. 5), in welcher die Spitzen der von beiden Polen der

[1] In der neueſten Zeit will der Pater Santi Linari gefunden haben, daß der Zitterrochen an einem Strohhalmelectrometer eine Divergenz hervorbringen kann. Die Strohhalme divergirten mit poſitiver Electricität, wenn der den Fiſch mit der Collectorplatte des Condenſators verbindende Draht mit dem Rücken, dagegen mit negativer, wenn er mit dem Bauch des Fiſches in Berührung geſtanden hatte. Dagegen konnte Colladon mit einem ſorgfältig gearbeiteten Condenſator und Goldblattelectrometer am Zitterrochen keine Spur von Electricität erhalten. Schon Becquerel und Breſchet hatten gefunden, daß der poſitive Strom immer vom Rücken zum Bauch geht. Ferner haben Linari und Matteucci durch die Electricität der Zitterrochen deutlich ſichtbare Funken erhalten und Faraday hat überdieß durch dieſelbe Drähte erhitzt. (M.)

Säule herkommenden Schließungsdrähte AB, CD einander in einer mäßigen Entfernung gegenüber ſtehen; indem hier die durch die Drähte zugeleiteten electriſchen Ströme zwiſchen B, D durch die flüſſige Materie gehen, bringen ſie in dieſer die chemiſchen Wirkungen hervor, die den Umſtänden nach ſtatt finden können. Befindet ſich reines Waſſer in der Röhre und ſind es Platin- oder Golddrähte, die ſich im Waſſer gegenüber ſtehen, ſo geben an beiden Drahtſpitzen Bläschen hervor; iſt dagegen der zum poſitiven Pole der Säule gehende Draht von einem leichter oxydirbaren Metalle, ſo oxydirt ſich dieſer, während an dem andern Drahte, der nämlich mit dem negativen Pole in Verbindung ſteht, immer auf gleiche Weiſe Bläschen hervorgehen.

Dieſe Wahrnehmung zeigt ſchon, daß die Waſſerzerſetzung hier auf eine ungewöhnliche Weiſe ſtatt findet, daß nämlich am negativen Drahte nur der eine, am andern Drahte nur der andere Beſtandtheil ſich uns kenntlich darſtellt. Da dieſe Erſcheinung der Vorſtellung von einer Zerſetzung des Waſſers nicht entſprechend ſchien, ſo glaubten zuerſt einige Phyſiker, man müſſe die Lehre von der Waſſerzerſetzung aufgeben; aber ſpätere Verſuche, die auch bei andern Zerſetzungen daſſelbe Geſetz beweiſen, daß nur der eine Beſtandtheil am einen Pole, der andere Beſtandtheil am andern Pole ausgeſchieden hervorgeht, ließen keinen Zweifel übrig, daß auch hier die wahren Beſtandtheile des Waſſers, als durch Zerlegung deſſelben hervorgehend, ſich uns darſtellen. Um die beiden Luftarten, die bei der Zerlegung des Waſſers entſtehen, abgeſondert zu erhalten, dient, da die Wirkung einer nicht allzu ſchwachen Säule ſich weit genug erſtreckt, ein Inſtrument, wo die Drähte ſich am unteren Ende zweier Röhren befinden. Es ſey die Röhre ABC (Fig. 6) ganz mit Waſſer gefüllt und befinde ſich in das weitere, mit reinem Waſſer gefüllte Gefäß DE eingetaucht; über die Oeffnungen der Röhre ABC ſind zwei oben geſchloſſene, aber ganz mit Waſſer gefüllte Röhren oder Glöckchen AF, CG geſtürzt, damit dieſe die bei B etwa ſich entwickelnde Luft aufnehmen. In dieſe Glöckchen ſind die Platindrähte FH, GK durch Einſchmelzen befeſtigt, deren Enden ſich ziemlich tief im untern Theile der Röhren befinden. Daß die Gefäße AF, CG ſich wegen des auf die Oberfläche LM des Waſſers wirkenden Luftdruckes mit Waſſer gefüllt erhalten, wenn man ſie angefüllt mit ihren Mündungen unter die Oberfläche LM bringt, brauche ich wohl nicht erſt zu ſagen. Wird nun der eine der Platindrähte bei N mit dem einen, der andre bei O mit dem andern Pole der Säule in Verbindung geſetzt, ſo bildet ſich eine theils aus den Metalldrähten NH, OK, theils aus der Waſſermaſſe HBK beſtehende Schließung der Kette; indem aber die electriſchen Ströme von der Spitze des einen Drahts zur Spitze des andern übergehen, zerſetzen ſie das Waſſer ſo, daß bei H die eine, bei K die andre Luftart hervorgeht, und jede ſammelt ſich, in ihrer abgeſonderten Röhre aufſteigend, ungemiſcht in den Glöckchen bei F und G. Die Unterſuchung der ſo aus reinem, ausgekochtem Waſſer hervorgehenden Luftarten zeigt, daß ſie ſowohl der Beſchaffenheit als der Quantität nach dem entſprechen, was man ſchon ſonſt von der

Waſſerzerſetzung wußte, daß nämlich dem Raume nach doppelt ſo viel Waſſerſtoffgas als Sauerſtoffgas hervorgeht, und jenes wird am negativen dieſes am poſitiven Pole, das iſt, das letztere an dem vom Zink herkommenden Drahte ungemiſcht gefunden.

Obgleich aber auf dieſe Weiſe der eine Beſtandtheil des Waſſers an einem von der Entſtehung des andern weit genug entfernten Punkte hervorgeht, ſo wird doch auch hier jedes Waſſertheilchen in ſeine zwei Beſtandtheile zerlegt. Wir können uns die Waſſertheilchen als eine Kette bildend vorſtellen, wo, indem das erſte Theilchen ſein Oxygen an dem poſitiven Drahte hergiebt, das Hydrogen zum zweiten Theilchen übergeht und ſich mit dem Oxygen deſſelben verbindet, deſſen Hydrogen wieder zum dritten Theilchen übergeht, und ſo fort bis zum letzten Theilchen, welches ſein Hydrogen als frei geworden am negativen Drahte hergiebt. Dieſe Anziehung des Oxygens zum poſitiven, des Hydrogens zum negativen Ende, womit zugleich eine Abſtoßung des andern Beſtandtheiles verbunden iſt, findet ſo genau in demſelben Augenblicke durch die ganze zwiſchenliegende Waſſermaſſe ſtatt, daß in dem Zwiſchenraume nicht eine Spur von Freiwerden des andern Beſtandtheiles merklich iſt, und es muß daher dieſer Austauſch, wodurch jedes in der Mitte liegende Theilchen ſtatt des nach der einen Seite abgegebenen Hydrogenantheils und des nach der andern Seite abgegebenen Oxygenantheils ſogleich den Erſatz in entgegengeſetzten Richtungen empfängt, völlig momentan ſeyn.

Menge des entwickelten Gaſes unter verſchiedenen Umſtänden.

Die Waſſerzerſetzung geht bei Anwendung derſelben voltaiſchen Säule deſto ſtärker von ſtatten, je näher die Drahtſpitzen einander ſind; aber nach Erman's Verſuche, wo Glasröhren mit durchbohrten Korkſtöpſeln zu einer ſehr langen Röhre vereinigt angewandt wurden, iſt ſie noch merklich, wenn auch 18 Fuß Waſſer ſich zwiſchen den Drahtſpitzen einer gut wirkenden, aus 100 Plattenpaaren beſtehenden Säule befinden. Wenn die Drahtſpitzen ihre immer gleiche Stellung behalten, ſo kann die Menge der aus dem Waſſer hervorgehenden Luft zu einem Maaße der chemiſchen Wirkſamkeit verſchiedener Säulen (Voltameter) dienen. Biſchoff hat zu dieſem Zwecke, nämlich um die Zeit zu beobachten, in welcher ein beſtimmtes Maaß der beiden Luftarten hervorgeht, mit Vortheil eine vertical ſtehende Röhre AB (XIV. Fig. 7) angewandt, in welcher der von oben eintretende eingeſchmelzte Platindraht CD dem von der Seite eintretenden Drahte EF gegenüber ſteht. Iſt hier zu Anfang des Verſuches die Röhre mit reinem ausgekochtem Waſſer gefüllt, ſo fängt, ſobald die Säule in Thätigkeit iſt, ein Hinaufſteigen der Luftarten von beiden Platindrähten D, E an, und dieſes dauert fort, bis beide Drahtſpitzen ſich nicht mehr im Waſſer befinden; bemerkt man alſo den Augenblick, wo man die Drähte ihre Wirkung anfangen läßt und wo ſie wegen aufgehobener Leitung zwiſchen D, E aufhört, ſo hat man die Zeit, in welcher das immer gleiche Luftvolumen

bei gleicher äußerer Temperatur und gleichem Luftdrucke, aber unter verſchiedenen Einwirkungen der Säule hervorgegangen iſt.

Außer der Annäherung der Drahtſpitzen gegen einander hat auf die vermehrte Menge der entwickelten Luft auch die Art der Metalle Einfluß, aus welchen die Drähte beſtehen. Ein Draht von einem in der Reihe der Electromotoren als ſehr ſtark poſitiv erkannten Metalle iſt am poſitiven Pole am wirkſamſten, um viel Waſſerſtoffgas am andern Pole zu erhalten, und dieß in ſolchem Grade, daß Marechaux die achtfache Menge Waſſerſtoffgas erhalten zu haben angiebt, als er am poſitiven Pole ſtatt des Golddrahtes einen Zinkdraht anbrachte. Will man an beiden Polen gleiche Drähte anbringen, ſo ſind Drähte aus einem poſitiven Metalle beſſer, als die aus einem negativen Metalle, geeignet, um viel Waſſerſtoffgas zu geben. Wenn die Flüſſigkeit, die man der Zerſetzung unterwirft, kein reines Waſſer iſt, ſondern Säuren oder Salze enthält, ſo vermehrt ſich die durch Waſſerzerſetzung erhaltene Luftmenge in hohem Grade, ſo daß Gay-Lüſſac bei einem Verſuche aus verdünnten Säuren viermal ſo viel Gas als aus einem undeſtillirten reinen Waſſer, das nur ſehr wenig Kalktheile enthielt, entwickelte, bei einem andern Verſuche aber, wo ganz reines, von Luft befreites Waſſer angewandt wurde, kaum ein Maaß Gas erhielt, ſtatt daß 49 Maaß hervorgingen, wenn $^1/_{250}$ einer geſättigten Auflöſung von ſchwefelſaurem Natron hinzugethan wurde, und 328 Maaß, wenn dieſe geſättigte Auflöſung ſelbſt der Zerſetzung unterworfen wurde. Hiebei kommen indeß, je nachdem man verſchiedene Säuren oder Salze anwendet, große Ungleichheiten vor, indem einige Auflöſungen bei vermehrter Verdünnung immer weniger Gas geben, andere dagegen dieſem Geſetze nicht entſprechen.[1]

Die Gasentwickelung nimmt unter ſonſt gleichen Umſtänden nicht in gleichem Verhältniſſe mit der Zahl der Plattenpaare in der Säule zu, ſondern Gay-Lüſſac fand, daß die erzeugte Luftmenge ſich erſt verdoppelte, als die Anzahl der Plattenpaare auf das Achtfache ſtieg. Um die Waſſerzerſetzung in einem nicht deſtillirten und nicht ausgekochten Waſſer deutlich zu zeigen, reichen Säulen von 12 Plattenpaaren vollkommen hin und ſelbſt zwei oder drei Schichtungen zeigen ſich ſchon wirkſam. Wendet man Säulen mit Platten von verſchiedener Größe an, ſo iſt unter ſonſt gleichen Umſtänden die entwickelte Gasmenge der Größe der Platten proportional, was auch, da eine Säule von 50mal ſo großen Platten ſo anzuſehen iſt, als ob 50 Säulen aus kleinen Platten neben einander ſtänden, nicht wohl anders ſeyn kann.

In ſehr ſtarkem Maaße aber hängt die Menge des entwickelten Gaſes von der Verſchiedenheit der Flüſſigkeiten ab, mit welchen die feuchten Leiter in der Säule benetzt oder die Zellen des Trogapparates gefüllt ſind. Je mehr dieſe

[1] Nach Schönbein's Entdeckung entwickelt ſich bei der Waſſerzerſetzung an Platin und Gold ein das Sauerſtoffgas begleitender und dieſem anhängender, dem bekannten electriſchen Geruche vollkommen ähnlicher Geruch, ſobald das zu zerſetzende Waſſer eine der folgenden Subſtanzen beigemiſcht enthält: chemiſch reine Schwefel- oder Salpeterſäure, Phosphorſäure, ſchwefelſaures Natron, phosphor- oder ſalpeterſaures Kali. (M.)

Flüſſigkeiten den ſchnellen Kreislauf des electriſchen Stromes befördern, deſto wirkſamer zeigt ſich auch in chemiſcher Hinſicht die Säule. Wenn bei Gay-Lüſſac's Verſuchen die dem Waſſer in den Zellen zugeſetzte Salpeterſäure auf das Doppelte und Vierfache vermehrt wurde, ſo erhielt man immer deſto mehr Gas, und ſo in ähnlichen Fällen. Trockene Säulen bringen nur ſehr geringe Spuren chemiſcher Wirkungen hervor, weil die Langſamkeit des in ihnen ſeinen Kreislauf vollendenden electriſchen Stromes dieſe Wirkungen nicht geſtattet.

Andere Zerſetzungen in der Schließung der Säule.

Daß nicht das Waſſer allein dieſer Zerſetzung unterworfen ſey, ließ ſich erwarten, und die Erfahrung zeigt, daß alle Salze und ähnliche zuſammengeſetzte Körper ähnliche Zerſetzungen erleiden.[1] Füllt man die Röhre, in welcher die Drahtſpitzen einander gegenüber ſtehen, mit einer Auflöſung von Bleizucker (eſſigſaurem Blei), ſo erhält man ſchon in wenigen Augenblicken an dem Drahte des negativen Poles einen Bleiniederſchlag, während am poſitiven Drahte ſich, ſo weit es die Natur des Metalles erlaubt, die Einwirkung der dort hervorgehenden Säure zeigt. Das Salz wird alſo zerlegt, und zwar ſo, daß Blei am negativen, Säure am poſitiven Pole hervorgeht. Verwechſelt man die Drähte, ſo daß man den Draht, an welchem die feinen Bleiſpänchen ſich angehängt haben, ohne ihn zu erſchüttern, an das Zinkende, den andern Draht dagegen an das Kupferende der Säule knüpft, ſo verſchwindet allmälig das an jenem niedergeſchlagene Blei, indem es ſich in der Flüſſigkeit auflöſt, und ein neuer Niederſchlag von Blei zeigt ſich nun an dem jetzt negativen Drahte. Eben dieſes Niederſchlagen des Metalles erfolgt in allen ähnlichen Fällen am negativen Drahte, der ſaure Beſtandtheil geht dagegen zum poſitiven Drahte über.

Wenn man die beiden Röhren (XIV. Fig. 8) mit einem durch etwas Lackmustinctur gefärbten Waſſer füllt, ſo findet man, nachdem die Thätigkeit der mit den beiden Drähten gehörig geſchloſſenen Säule eine Zeit lang gedauert hat, die Färbung an dem poſitiven Drahte geröthet, zum Zeichen, daß alles, was von ſauren Beſtandtheilen in dem ſelten von allen Salzen ganz freien Waſſer war, nebſt dem bei der Zerſetzung des Waſſers dorthin übergehenden Oxygen, ſich nach dem poſitiven Drahte hin begeben hat. Füllt man die Röhren mit Veilchenſyrup, der bekanntlich ſeine blaue Farbe in Roth verwandelt, wenn Säure, in Grün aber, wenn alcaliſche Stoffe mit ihm gemiſcht werden, ſo ſieht man am poſitiven Drahte die Röthung, am negativen Drahte das Grün ſo hervorgehen, daß die Flüſſigkeit in der einen Röhre roth, in der andern grün wird, und zwar mit dem auffallendſten Gegenſatze.

[1] Diejenigen Körper, welche durch den galvaniſchen Strom zerſetzt werden, nennt Faraday Electrolyten; ihre Oberfläche, je nachdem ſie der poſitiven oder negativen Electrode zunächſt liegen, Anode und Kathode; die frei werdenden Subſtanzen Jonen, und zwar Anionen oder Kationen, je nachdem ſie an der Anode oder Kathode frei werden. Nach ihm werden alle Electrolyten zerſetzt ſobald ſie, es ſey nun durch Hitze oder durch Löſung in Waſſer, flüſſig gemacht werden. (M.)

In allen ähnlichen Verſuchen ſpricht ſich ganz unbezweifelt die Regel aus, daß das Oxygen und die in den Salzen enthaltenen Säuren mit großer Gewalt zum poſitiven Pole der Säule, der Waſſerſtoff, die Alcalien, die Erden und die Metalle hingegen zum negativen Pole der Säule hingezogen werden. Auf dieſer Zerſetzung der Flüſſigkeiten beruht auch der ſaure Geſchmack, den man auf der Zunge am poſitiven Drahte, und der alcaliſche, den man am negativen Drahte wahrnimmt.

Dieſe Wirkung der Säule überwindet die gewöhnlichen chemiſchen Einwirkungen, wenn die Säule mächtig genug iſt. Es iſt bekannt, wie leicht ſich Zink, Eiſen und andre Metalle in verdünnter Schwefelſäure auflöſen, aber dennoch bleiben ſie in dieſer Säure unangegriffen, wenn ſie ſich als Leiter von dem negativen Pole her in dieſer Säure befinden; denn da unter dieſen Umſtänden das etwa ſchon in der Säure aufgelöſte Metall an dieſem Pole ſich metalliſch niederſchlägt, ſo findet eine Sicherung des Metalles gegen Auflöſung offenbar ſtatt. Am poſitiven Pole dagegen übt eine auf das Metall ohnehin ſchon wirkende Säure eine vermehrte Gewalt aus.

Faraday's gründliche Unterſuchungen haben zwei wichtige Geſetze kennen gelehrt: erſtens daß der chemiſche Effect eines electriſchen Stromes, d. h. die in einer beſtimmten Zeit zerſetzte Menge eines zerſetzbaren Körpers (Electrolyten) der Intenſität des Stromes direct proportional iſt; zweitens daß die Quantitäten der frei werdenden Subſtanzen (Jonen), welche derſelbe Strom in gleicher Zeit aus verſchiedenen Electrolyten entwickelt, unter ſich in denſelben Verhältniſſen ſtehn, in welchen ſie ſich chemiſch verbinden, oder mit andern Worten chemiſche Aequivalente ſind. Dieſes zweite Geſetz heißt das Geſetz der feſten electrolytiſchen Action.

Chemiſche Wirkungen der einfachen galvaniſchen Kette.

Aber nicht bloß an voltaiſchen Säulen zeigen ſich dieſe chemiſchen Wirkungen, ſondern ſelbſt an einfachen galvaniſchen Ketten. Wenn man in eine Auflöſung von Kupfervitriol (ſchwefelſaurem Kupfer) in Waſſer einen Platindraht bringt, ſo zeigt dieſer keine Veränderungen; aber wenn man einen Platindraht und einen Eiſendraht nahe an einander liegend und ſo, daß beide ſich in einigen Punkten berühren, in die Auflöſung bringt, ſo belegt ſich der Platindraht mit einem Ueberzuge von Kupfer. Im letztern Falle entſteht nämlich ein electriſcher Strom, indem die poſitive Electricität vom Platin in den Punkten, wo die metalliſche Berührung ſtatt findet, zum Eiſen und dann durch die Auflöſung zurück zum Platin ſtrömt; das in der einfachen galvaniſchen Kette den negativen Pol darbietende Platin zieht daher aus der Auflöſung das Metall an ſich, während die Säure zum Eiſen oder überhaupt zum poſitiven Metalle übergeht.

Ein andrer Verſuch, der ebenſo leicht anzuſtellen iſt, beſteht in Folgendem. Man tröpfle zu einem Glaſe voll Waſſer nur ſo wenig Schwefelſäure, daß das wenig geſäuerte Waſſer noch keine Wirkung zeigt und keine Luftbläschen

hervorbringt, wenn man auch Zink oder Kupfer hineinthut; aber nun bringe man Zink und Kupfer ſo, daß die eingetauchten Metalle an ihrem untern Theile von einander entfernt gehalten, oben mit den Fingern zuſammengedrückt werden, in dieſes Waſſer, ſo geht aus dem Kupfer ein Strom von Bläschen hervor, weil der jetzt vom Kupfer zum Zink, vom Zink durch das Waſſer zum Kupfer zurück gehende poſitiv-electriſche Strom dem Kupfer die Eigenſchaft des negativen Poles, den Waſſerſtoff des Waſſers ſtark an ſich zu ziehen, ertheilt, und dieſer hier frei wird, während die Säure und das ausgeſchiedene Oxygen ſich zum Zink hinüberziehen.

Ein ſchon 1792 von Fabroni bekannt gemachter Verſuch, daß Zink allein im Waſſer liegend ſich langſamer oxydire, als Zink, das auf Kupfer oder Silber liegt, gehört ganz in eben dieſe Claſſe von Erſcheinungen. Und ſo wie hier das Zink der Oxydation in verſtärktem Maaße unterworfen wird, weil es unter den beiden ſich berührenden Metallen dasjenige iſt, welches den poſitiven Pol der electriſchen Kette bildet, ſo kann man dagegen ein Metall gegen die Oxydation ſichern, wenn man ein mehr poſitives Metall mit ihm in Verbindung bringt. Eiſen wird in einem nur wenig geſäuerten Waſſer oxydirt und das Waſſer zerſetzt ſich; bringt man aber Zink in Berührung mit Eiſen in das Waſſer, ſo bleibt das Eiſen unangegriffen, weil das Oxygen ſich nun dem Zink zuwendet. Man nennt dieſe in neuerer Zeit vielfach (beſonders in Frankreich) angewandte Sicherung des Eiſens gegen das Roſten die Galvaniſirung deſſelben. Das Eiſen wird entweder auf trockenem Wege oder mittelſt einer conſtanten Kette verzinkt; bei dem letztern Verfahren haftet das Zink beſſer und ſchützt das Eiſen vollkommen gegen das Roſten. Selbſt Gold und Platin kann man durch Zink gegen die Einwirkung des Königswaſſers ſchützen.

Sicherung des Kupferbeſchlages an Schiffen.

Dieſe Sicherung gegen Oxydation hat Davy zu einer practiſch vortheilhaften Anwendung benutzt. Es iſt bekannt, daß man Schiffe durch einen Kupferbeſchlag gegen die Seewürmer zu ſichern pflegt; aber dieſes Kupfer wird ſehr bald grün und zeigt im Verlaufe längerer Zeit eine ſo ſtarke Oxydation, daß es aufgelöſt wird und ſeinen Zweck nicht mehr erfüllt. Da dieſe Oxydation hier ein Metall trifft, das ziemlich weit nach der negativen Seite ſteht, ſo ſchien es leicht, es durch Verbindung mit einem poſitiven Metalle zu ſichern. Davy überzeugte ſich, daß die Einwirkung des Meerwaſſers auf das Kupfer nur dann eintrat, wenn das Meerwaſſer nicht von Luft befreit war, daß aber dieſe Einwirkung völlig gehindert wurde, wenn man auch nur $1/_{150}$ der Kupferoberfläche mit Eiſen belegte. Bei Verſuchen, die an Schiffen angeſtellt wurden, welche weite Seereiſen machten, fand ſich, daß eine ſolche Armirung mit Eiſenplatten, wenn dieſe $1/_{35}$ der Kupferoberfläche betrugen, ſo mächtig die entgegengeſetzte Wirkung hervorbrachte, daß nun ein Niederſchlag der im Meerwaſſer enthaltenen Erden und alcaliſchen Subſtanzen am Kupfer ſtatt fand. Dieſer

Niederſchlag an dem allzu ſehr in negativ=electriſchen Zuſtand verſetzten Kupfer war ſo bedeutend, daß der Nachtheil einer ſtarken Anſiedelung von Seegewächſen an demſelben daraus erwuchs; aber dieſe entgegengeſetzten Nachtheile wurden vermieden, wenn Gußeiſen, deſſen Größe ungefähr $1/_{150}$ der Kupferfläche betrug, an dieſer befeſtigt wurde, und das Gußeiſen erhielt ſich lange genug unzerſtört wirkſam.

Eine ähnliche practiſche Anwendung dieſer Kenntniſſe findet bei den Leitungsröhren für Waſſer ſtatt. Sind dieſe von Blei und an ihren Zuſammenſetzungen mit einer Löthung verſehen, die mehr negativ=electriſch iſt, ſo ſchlagen ſich in einem kalkhaltigen Waſſer dieſe erdigen Beſtandtheile in der Gegend der Löthungen nieder und verſtopfen die Röhren; man muß daher an Stellen, die man ſo wählt, daß ſie keiner Verſtopfung unterworfen ſind, ein noch mehr negatives Metall anbringen, damit dieſes den Niederſchlag auf ſich ziehe.

Davy's Unterſuchungen über die Gewalt, mit welcher die Zerlegung bewirkt wird, und über das Hinüberführen der Stoffe.

In mehreren der angeführten Verſuche zeigte ſich ein Hinüberführen der einzelnen Beſtandtheile nach den beiden Polen der electriſchen Säule; aber dieſes Hinüberführen, wenn gleich ſchon früher von Berzelius und Hiſinger beachtet, ward erſt durch Davy vollſtändig ins Licht geſtellt. Eine als wichtig bekannt gemachte, aber unrichtig ausgelegte Entdeckung gab zu dieſen Verſuchen die nächſte Veranlaſſung. Pacchiani nämlich glaubte aus vollkommen reinem Waſſer am poſitiven Pole eine Säure, die er für Salzſäure hielt, dargeſtellt zu haben, und da man die Zuſammenſetzung der Salzſäure nicht kannte, aber ſie als aus Oxygen und einem andern Grundbeſtandtheile zuſammengeſetzt anſah, ſo ſchien es nicht unglaublich, daß dieſer zweite Beſtandtheil Hydrogen ſeyn könne und daß die Salzſäure aus eben den Beſtandtheilen wie das Waſſer, aber in anderm Verhältniſſe gemiſcht, beſtehen möge. Am andern Drahte zeigte ſich Natron, deſſen Urſprung man gleichfalls ſchon erklären zu können glaubte. Dieſe von mehrern Phyſikern als richtig anerkannten Erfolge zogen Davy's Aufmerkſamkeit auf ſich. Auch er fand, wenn zwei Glasröhren voll deſtillirten Waſſers, mit Blaſe als leitender Subſtanz in Verbindung geſetzt, der Wirkung der voltaiſchen Säule ausgeſetzt waren, an dem an das poſitive Ende angebrachten Golddrahte eine ſalpeterſalzſaure Goldauflöſung, am negativen Drahte eine Natronauflöſung, glaubte aber bald ſich zu überzeugen, daß hier die Salzſäure der thieriſchen Subſtanz ihren Urſprung verdanke und daß das Natron aus dem Glaſe, welches da, wo der Draht es berührte, ſtark angefreſſen war, herrühre. Um dieſe Vermuthung zu prüfen, wurden zwei Achatbecher und ein Stück Amianth, das zur leitenden Verbindung beider dienen ſollte, mit deſtillirtem Waſſer ausgekocht, und dann in dieſen Bechern deſtillirtes Waſſer mit Anwendung von Platindrähten der Einwirkung des electriſchen Stromes ausgeſetzt; da ſich aber auch hier Säure am einen, Natron am andern Pole zeigte, ſo ſchien dieſer Verſuch die Meinung von der Entſtehung dieſer Subſtanzen aus dem reinen Waſſer zu beſtätigen. Davy

überlegte indeß, daß, da ſich hier lange nicht ſo viel Alcaliſches als beim Glaſe zeigte, wohl ſelbſt die kleinſten dem Achate anhängenden fremden Theilchen zu einem ſolchen Erfolge Anlaß geben könnten, und daß ſich dieß bei öfterer Anwendung derſelben Becher und deſſelben Amianths entſcheiden müſſe, indem das reine Waſſer immer gleiche Subſtanzen hergeben müſſe, die dem Achat zufällig anhängenden Theilchen aber ſich erſchöpfen würden. Wirklich nahm bei den folgenden Verſuchen die Menge der alcaliſchen Subſtanz ab; da ſie aber doch immer noch in einigem Maaße hervorging und auch die Erzeugung von Säure fortdauerte, ſo ſchloß Davy, daß im Waſſer hiezu die Veranlaſſung liegen möge, wenn gleich eine Verſtärkung des Erfolges als abhängig von den Gefäßen nicht zu verkennen war. Dem reinen Waſſer konnte man bei dieſer Ungleichheit, die in den Gefäßen ihren Urſprung hatte, die Entſtehung jener Stoffe nicht wohl mehr zuſchreiben; es mußte alſo unterſucht werden, ob das deſtillirte Waſſer vollkommen rein ſey, und zu dieſem Zwecke war dieſelbe Quantität Waſſer in kleinen goldenen Gefäßen lange Zeit dem electriſchen Strome ausgeſetzt. Da ſich hiebei nur eine ſehr ſchnell merklich werdende, aber immerfort klein bleibende Menge von Alcali zeigte, ſo ließ ſich ſchließen, daß dieſer Stoff in beſtimmter Menge dem Waſſer beigemiſcht geweſen war, und dieß beſtätigte ſich, als aus dem abermals langſam deſtillirten Waſſer ein kleiner alcaliſcher Rückſtand übrig blieb, das nun erhaltene deſtillirte Waſſer aber kaum noch die leiſeſten Spuren eines alcaliſchen Stoffes, ſelbſt bei lange dauernder Einwirkung des electriſchen Stromes, zeigte. So war die Entſtehung des alcaliſchen Stoffes deutlich nachgewieſen, und da ein Stückchen Glas, in die Goldbecherchen gelegt, unter Einwirkung des electriſchen Stromes immer wieder bedeutende Mengen des alcaliſchen Stoffes gab und Marmor auf ähnliche Art wirkte, ſo blieb kein Zweifel, daß die zerſetzende Kraft des electriſchen Stromes dieſe Subſtanz den Gefäßen oder den eingetauchten Körpern entreiße.

Ueber die Entſtehung der am poſitiven Pole hervorgehenden Säure, die bei Anwendung thieriſcher Subſtanzen zur Leitung ſich als Salzſäure und Salpeterſäure, ohne Anwendung jener Subſtanzen als Salpeterſäure zeigte, war hiedurch noch nichts entſchieden; aber da das Waſſer immer während der Einwirkung der Säule atmoſphäriſche Luft abſorbiren konnte, ſo war Davy's Vermuthung, daß der Stickſtoff der atmoſphäriſchen Luft mit Sauerſtoff verbunden als Salpeterſäure dem poſitiven Pole zuſtröme, ſehr natürlich, und ſie fand ſchon darin, daß ſich am negativen Pole einige Spuren von Ammoniak (einer Verbindung von Stickſtoff und Waſſerſtoff) zeigten, eine vorläufige Beſtätigung. Vollkommen aber wurde dieſe Vermuthung beſtätigt, als die im luftleeren Raume und die in einem mit Waſſerſtoffgas gefüllten Raume angeſtellten Verſuche keine Erzeugung von Säure mehr zeigten, und ſo war die Erklärung des Verſuches von Pacchiani gänzlich auf länger bekannte Principien zurückgeführt und ſeine Meinung über die Zuſammenſetzung der Salzſäure widerlegt.

Aber dieſe Reihe von Verſuchen hatte die wichtige Kenntniß ergeben, daß die im Waſſer nicht auflöslichen Körper dennoch von der electriſchen Einwirkung zerſetzt würden, und dieſe Erfahrung weiter zu prüfen war Davy's nächſtes Beſtreben. Zwei Gefäße aus Alabaſter (ſchwefelſaurem Kalk) wurden mit reinem Waſſer gefüllt und durch einen feuchten Leiter verbunden; nach einer mäßig langen Einwirkung der voltaiſchen Säule war in dem Gefäße, das den negativen Draht enthielt, Kalk, in dem andern Schwefelſäure; vom Alabaſter war alſo ein Theil in ſeine Beſtandtheile zerlegt und einer derſelben in das eine Gefäß, der andre in das andre Gefäß hinüber geführt. Zahlreiche andre Verſuche zeigten daſſelbe; aber dieſes Hinüberführen in die Ferne verdiente noch genauer unterſucht zu werden. Es wurde in dem Gefäße, das den poſitiven Draht aufnahm, deſtillirtes Waſſer, in demjenigen, das den negativen Draht aufnahm, eine Auflöſung von ſchwefelſaurem Kali der Wirkung der electriſchen Ströme ausgeſetzt, zwiſchen dieſen Gefäßen aber ein Gefäß mit Waſſer, das mit Lackmus gefärbt war, aufgeſtellt. Dieſe Gefäße wurden ſo durch feuchte Leiter verbunden, daß der poſitiv-electriſche Strom vom Waſſer durch das gefärbte Waſſer zu der Auflöſung, der negativ-electriſche von der Auflöſung ſchwefelſauern Kali's durch das gefärbte Waſſer gehen mußte, und dennoch war nach kurzer Zeit das Waſſer am poſitiven Drahte mit Schwefelſäure gemiſcht, ohne daß in dem gefärbten Waſſer ſich der ganze von der Säure durchlaufene Weg durch eine Röthung der Lackmustinctur kenntlich gemacht hätte. Die Röthung fand zuerſt da ſtatt, wo das letzte Ziel des Hinſtrebens der Säure lag, in der Nähe des poſitiven Drahtes, und erſt nach und nach verbreitete ſich dieſe Röthung rückwärts weiter, aber ohne in dem Theile des Mittelgefäßes, der der ſchwefelſauern Kaliauflöſung am nächſten war, irgend eine Veränderung der Farbe hervorzubringen. Bei einem andern Verſuche war das Mittelgefäß mit einer Ammoniakauflöſung gefüllt, aber auch hier fand keine Verbindung der durch dieſe Auflöſung gehenden Schwefelſäure mit derſelben ſtatt, ſondern die Säure ward durch die Auflöſung hindurch geführt. Offenbar findet alſo eine ſo unaufgehaltene Fortführung der Säure nach dem poſitiven Pole zu ſtatt, daß die Verbindung, welche ſie mit dem im Mittelgefäße enthaltenen alcaliſchen Stoffe einzugehen im Begriff iſt, in jedem Augenblicke von Theilchen zu Theilchen wieder getrennt und daher kaum durch die geringſten Spuren kenntlich wird; und allerdings würde ja ein im Mittelgefäße enthaltenes Salz ſeine Säure nach der poſitiven Seite abgeben, weshalb aus gleichem Grunde das im Entſtehen begriffene Salz auch in jedem Augenblicke wieder zerſetzt werden muß und die Verbindung der Säure mit dem alcaliſchen Stoffe auf keine dauernde Weiſe zu Stande kommt. Nur in dem Falle, wo das Salz, welches ſich im Mittelgefäße nach den gewöhnlichen Geſetzen bilden ſollte, im Waſſer unauflöslich iſt und daher ſogleich bei ſeiner Entſtehung zu Boden fällt, ändert ſich der Erfolg. Wurde die Auflöſung von ſchwefelſauerm Kali am negativen Drahte, reines Waſſer am poſitiven Drahte angebracht, und es befand ſich im Mittelgefäße geſättigtes Barytwaſſer;

ſo gelangte faſt nicht der kleinſte Theil der Schwefelſäure zum poſitiven Drahte hin; es hatte nämlich die durch die Kraft der electriſchen Anziehung aus der Auflöſung ſchwefelſauern Kali's ausgeſchiedene Schwefelſäure zwar ihren Weg gegen den poſitiven Draht zu angetreten, aber da ſie im Mittelgefäße Schwererde antraf, mit der ſie bei ihrem Eintritte in daſſelbe ein zu Boden fallendes Salz bildet, ſo war ſie aus dem electriſchen Strome entfernt worden und die Hinüberführung hatte hier ihr Ende erreicht. Alle ähnliche Verſuche hatten gleichen Erfolg, die Natur dieſer Hinüberführung der Stoffe war ſo in das vollkommenſte Licht geſtellt, und auch das war noch klarer geworden, was ich ſchon vorhin über die Waſſerzerſetzung und den Grund des getrennten Hervorgehens der Beſtandtheile des Waſſers geſagt habe.

Davy hat ein gleiches Hinüberführen der Stoffe auch durch die gewöhnliche Electricität hervorgebracht, indem er den electriſchen Strom einer Electriſirmaſchine durch äußerſt feine Platinſpitzen in eine Auflöſung ſchwefelſauern Kali's eintreten ließ, die in zwei mit feuchtem Asbeſt verbundenen Gefäßen enthalten war; auch hier erſchien Kali um die negativ-electriſche, Säure um die poſitiv-electriſche Spitze.

Dieſen Unterſuchungen, die ich, weil ſie ſo muſterhaft ausgeführt ſind, etwas ausführlicher darſtellen zu müſſen glaubte, fügte Davy noch eine andre Reihe von Verſuchen hinzu. Die große Gewalt, welche die Electricität in mehreren der vorigen Verſuche als eine Zerſetzung der Körper bewirkend gezeigt hatte, ließ Davy vermuthen, daß man durch ſie die Beſtandtheile derjenigen Körper, die ſich durch die bisherigen Mittel noch nicht hatten zerlegen laſſen, kennen lernen werde. Aus dieſem Grunde ſetzte er zuerſt Kali, ſpäter Natron der Wirkung ſtark wirkender voltaiſcher Säulen aus, und ſah aus beiden am negativen Drahte glänzende Metallkügelchen hervorgehen, die unter Steinöl aufbewahrt ihren Metallglanz behielten, an der Luft dagegen ſich ſogleich wieder oxydirten, und durch dieſe Oxydirung im einen Falle in Kali, im andern in Natron verwandelt wurden; mit Waſſer in Berührung gebracht zerſetzten ſie, wegen ihrer ſehr großen Verwandtſchaft zum Sauerſtoff, das Waſſer. Es zeigte ſich alſo nun, daß die für unzerlegbar gehaltenen Alcalien eine metalliſche Baſis enthalten, welche aber zum Oxygen eine ſo große Verwandtſchaft hat, daß ſie ſich ſehr ſchwer davon trennen läßt und ſich bei jeder Gelegenheit ſogleich wieder damit verbindet; dieſe Metalle, deren Eigenſchaften Davy näher unterſuchte, unterſcheiden ſich von allen andern Metallen, ſie ſind auch unter ſich verſchieden, und die verſchiedenen Erdarten bieten ähnliche Grundſtoffe dar. Doch die weiter fortgeſetzte Reihe neuer Entdeckungen über die Beſtandtheile der Körper kann ich hier nicht vollſtändiger anführen, da ich ohnehin ſchon fürchte, bei dieſem Gegenſtande zu lange verweilt zu haben. Nach Davy's Meinung könnten wohl dieſe metalliſchen Grundſtoffe der Erden, wenn ſie irgendwo in der Tiefe unoxydirt vorhanden wären, beim Zutritt von Waſſer, durch ihre Verbindung mit dem Sauerſtoff und durch die dabei eintretende Verbrennung des Waſſerſtoffgaſes, zu Erdbeben und vulcaniſchen

Ausbrüchen Anlaß geben; aber dieſe Meinung hat keinen allgemeinen Beifall gefunden.

Um die Hinüberführung der Stoffe ſelbſt zu ſehen, braucht man nur eine Säule von 60 Plattenpaaren, etwa 4 Quadratzoll groß, mit Pappenſchichten, die mit ziemlich ſtarker Kochſalzauflöſung befeuchtet ſind, in Thätigkeit zu ſetzen, die Drähte in zwei mit blauem Pflanzenſafte gefüllte Gefäße zu führen und dieſe mit einem Mittelgefäße, in welchem ſich in Waſſer aufgelöſtes ſchwefelſaures Kali befindet, durch befeuchtete Baumwolle oder feuchtes Papier zu verbinden; es dauert dann nicht ſehr lange, bis die blaue Flüſſigkeit in dem Gefäße am negativen Drahte vollkommen grün wird und die am poſitiven Drahte ſich etwas mehr geröthet zeigt, zum Zeichen, daß das Salz im Mittelgefäße zerlegt iſt und ſeine verſchiedenen Beſtandtheile den beiden Polen zugeſendet hat. Man könnte auch die Auflöſung ſchwefelſauern Kali's ſo ſtellen, daß ſie den poſitiven Draht aufnähme, das Mittelgefäß und das den negativen Draht enthaltende Gefäß mit jener blauen Flüſſigkeit füllen und die Verbindung zwiſchen den drei Gefäßen durch feuchte Leiter bewirken; dann würde man die blaue Flüſſigkeit am negativen Drahte grün werden, im Mittelgefäße blau bleiben ſehen. Zu dieſem Verſuche dient, als vorzüglich gut die Farbenänderung zeigend, ein Aufguß warmen Waſſers auf die recht braunen, faſt rothen, jungen Blätter des gewöhnlichen braunen Kohles.

Galvanoplaſtik.

Auf den chemiſchen Wirkungen des Galvanismus beruht eine der intereſſanteſten und wichtigſten Erfindungen der neueſten Zeit: die Galvanoplaſtik, deren Urheber Jacobi in Petersburg iſt.[1] Sie beſteht im Allgemeinen in der Hervorbringung metalliſcher Niederſchläge auf metalliſchen oder andern Gegenſtänden mittelſt des Galvanismus, wodurch man entweder Copien dieſer Gegenſtände erhalten, oder ſie auf dauernde Weiſe mit einem metalliſchen Ueberzuge verſehen kann. Hierzu bedient man ſich immer einer conſtanten Kette mit poröſer Scheidewand, in der Regel aus Zink und Kupfer conſtruirt; das erſtere befindet ſich in einer verdünnten Säure oder Salzlöſung, das letztere in einer Metallauflöſung und zwar in einer Auflöſung von Kupfervitriol, ſobald die Bildung eines Kupferniederſchlags und Erzeugung einer abgeſonderten Copie mittelſt deſſelben beabſichtigt wird, indem ſich hierzu kein andres Metall als Kupfer eignet. Iſt die Kette geſchloſſen, ſo ſchlägt ſich ſogleich auf die das negative Element bildende Kupferplatte, welche eine horizontale Lage haben muß, metalliſches Kupfer nieder, das allmälig (nach mehrern Tagen) eine zweite vollkommen feſte Kupferplatte bildet, die eine überaus treue Copie der Originalplatte iſt, nur mit dem Unterſchiede, daß ſie alles erhaben enthält, was auf jener vertieft iſt, und umgekehrt; beide Platten laſſen ſich, wenn nur das Kupfer des Originals gut iſt, durch Abfeilen der

[1] Die Anſprüche des Engländers Spencer auf die Ehre der erſten Erfindung können ſchwerlich für begründet angeſehen werden. (M.)

Ränder leicht trennen, beſonders dann, wenn die Originalplatte vorher mit einer dünnen Oel- oder Fettſchicht überzogen war. Die Kupferlöſung muß durch Kupfervitriolcryſtalle immer geſättigt erhalten, die Flüſſigkeit in der Zinkzelle aber von Zeit zu Zeit erneuert werden. Große Vorzüge bietet in vielen Fällen eine gleichfalls von Jacobi erfundene Abänderung des beſchriebenen Verfahrens dar, welche darin beſteht, daß der galvaniſche Apparat von der Zerſetzungszelle, d. h. demjenigen Behälter, in welchem die Bildung der galvaniſchen Kupferplatte vor ſich geht, ganz getrennt iſt. Der letztere iſt mit einer Kupferauflöſung angefüllt, in welcher ſich zwei Kupferplatten befinden, die mit den Polen des galvaniſchen Apparats leitend verbunden ſind. Hierbei überzieht ſich die mit dem negativen oder Kupferpole verbundene Platte mit Kupfer, während die andre ſich allmälig auflöſt, und die Kupferauflöſung bleibt immer geſättigt; täglich wird eine etwa 1/6 Linie dicke Kupferſchicht erzeugt. Statt der kupfernen Originalplatte kann man Platten von andern negativen Metallen, beſonders Platin, Gold, Silber, nehmen; auch Copien nicht metalliſcher Gegenſtände kann man erhalten, wenn man ſie zuvor mit einer dünnen Metall- oder Graphitſchicht überzieht.

Die Anwendungen der Galvanoplaſtik ſind ungemein mannigfaltig und zahlreich. Man kann durch dieſelbe erhalten: Copien von geſtochenen Kupferplatten, indem man erſt von denſelben eine erhaben galvaniſche Copie, dann von dieſer eine zweite vertiefte nimmt; ferner von Münzen und Medaillen, und zwar ſowohl von kupfernen, als von goldenen und ſilbernen, indem man dieſelben auf die im galvaniſchen Apparat befindliche horizontalliegende Kupferplatte legt und den frei bleibenden Theil der letztern auf der dem Zink zugekehrten Seite mit Wachs überklebt; Copien von erhabnen und getriebnen Metallarbeiten, ſelbſt von ganzen Figuren und ſolchen Gegenſtänden, deren Form aus vielen verſchiednen Theilen beſteht, wiewohl dieſelben ein ziemlich umſtändliches und ſchwieriges Verfahren erheiſchen; kupferne Matrizen zu einzelnen Lettern oder ganzen Sterotypplatten, die man dann entweder auf gewöhnliche Weiſe mit Letternmetall ausgießen, oder auf galvaniſchem Wege den zum Abdruck zu verwendenden Satz aus reducirtem galvaniſchen Kupfer verfertigen kann, u. ſ. w. Schon giebt es faſt keinen Zweig der Metallarbeit und der plaſtiſchen Kunſt, auf den die Galvanoplaſtik nicht mit Erfolg angewandt worden wäre.

Eine eigenthümliche Anwendung iſt die von Kobell in München erfundene ſogenannte Galvanographie, welche in der Herſtellung von Kupferſtichen auf galvaniſchem Wege nach einem mit encauſtiſcher Farbe auf eine Kupferplatte gemalten Bilde beſteht.[1] Das letztere muß ſo gemalt ſeyn, daß das Metall da freigelaſſen iſt, wo das Bild die höchſten Lichter zeigen ſoll, während die dickern Farbenſchichten den dunklern Stellen entſprechen. Die bemalte, völlig

[1] Neuerdings verſteht man häufig unter Galvanographie etwas ganz anderes, nämlich diejenige Anwendung des galvaniſchen Stroms, welche darin beſteht, daß an beſtimmten Stellen Metalle aufgelöſt und dadurch eine beſtimmte Form erzeugt wird. (M.)

getrocknete Platte wird auf die horizontale Kupferplatte in einem galvaniſchen Apparate von der oben beſchriebenen Einrichtung gelegt. Hierbei ſchlägt ſich das Kupfer zuerſt nur an den blanken Stellen nieder; die niedergeſchlagenen Schichten werden aber nach oben zu allmälig immer breiter, wachſen endlich oben zuſammen und bilden ſo eine Kupferplatte, die das gemalte, etwas erhabne Bild ſchwach vertieft enthält, als wenn es geätzt wäre, und ſofort zum Abdrucke (durch gewöhnlichen Kupferdruck) benutzt werden, vorher aber durch Radiren noch, wo nöthig, hier und da verbeſſert werden kann.

Hierher gehört endlich auch die Galvanoſtegie oder die Kunſt, auf galvaniſchem Wege Metalle mit feinen Ueberzügen andrer Metalle zu verſehen, z. B. zu vergolden. Die zuerſt von de la Rive angegebene, ſpäter von Böttger, Ruolz und Andern verbeſſerte galvaniſche Vergoldung geſchieht gleichfalls mittelſt einer conſtanten Kette, deren negatives Element der zu vergoldende Gegenſtand bildet. Der letztere, vorher von Oxyd und Fett gut gereinigt, befindet ſich in einer Goldauflöſung, die nur ſehr wenig Gold zu enthalten braucht; der electriſche Strom ſelbſt braucht nur ſehr ſchwach zu ſeyn. Nach Ruolz giebt Schwefelgold, in neutralem Schwefelkalium gelöſt, die beſte Vergoldung; andre ziehen die Auflöſung von Goldchlorid in gewöhnlichem gelben Blutlaugenſalze vor. Die Methode läßt ſich übrigens auf Platin, Silber, Kupfer, Stahl, Eiſen und Zinn anwenden, auf die letztern jedoch nur dann, wenn ſie zuvor mit einem dünnen Kupferüberzuge verſehen worden ſind. — Dieſelbe Methode dient, um Gegenſtände mit einem dünnen Ueberzuge eines andern Metalles, als: Silber, Platin, Blei, Zinn u. ſ. w. zu überziehen. Aus gemengten Auflöſungen ſchlagen ſich Legirungen nieder, daher kann man durch Kupfer und Gold rothe Vergoldung, durch Silber und Gold grüne Vergoldung erhalten, durch Kupfer und Zinn bronziren u. ſ. w.

Electrochemiſche Theorie.

Dieſe Erfahrungen, daß unter der Einwirkung der voltaiſchen Säule gewiſſe Beſtandtheile der Körper zum poſitiven, andre zum negativen Pole hin gezogen werden, veranlaßten ſchon Davy, ſogleich an die angeführten Entdeckungen eine Theorie zu knüpfen, welche die chemiſchen Verwandtſchaften der Körper mit den Eigenſchaften, die ſie hier zeigen, in Verbindung ſetzt, und dieſe electrochemiſche Theorie iſt nachher von Berzelius weiter ausgebildet worden. Die electriſche Kraft der Säule überwindet die anziehende Kraft der Verwandtſchaft, indem ſie die ſehr feſt verbundenen Beſtandtheile des Waſſers trennt, indem ſie aus den Salzauflöſungen die Säure zum einen, den alcaliſchen oder metalliſchen Beſtandtheil zum andern Pole hinüberzieht, indem ſie die Schwefelſäure in Schwefel und Sauerſtoff zerlegt, u. ſ. w. Je größer die Verwandtſchaft zweier Stoffe iſt, eine deſto ſtärkere electriſche Kraft wird auch zur Trennung erfordert, ſo daß die Kraft der Verwandtſchaft ſich dem Grade nach als vergleichbar mit der Kraft der Electricität darſtellt. Die einzelnen Stoffe haben aber nicht eine unbedingte Neigung zum einen oder andern Pole,

ſondern es giebt Körper, die aus gewiſſen Verbindungen geſchieden zum poſitiven Pole, in andern Fällen zum negativen hingezogen werden. Der Sauerſtoff geht in allen bekannten Fällen zum poſitiven Pole hin und überläßt alle mit ihm verbundene Körper, ſobald die Zerſetzung erfolgt, dem negativen Pole; andre Stoffe dagegen ſind nach verſchiedenen Graden bald der Hinüberführung nach dem einen, bald nach dem andern Pole unterworfen. Die Körper zeigen ſich alſo hier als in ihren kleinſten Theilen electriſch, und zwar ſo, daß ſie in ihren Verbindungen einen ähnlichen Gegenſatz darbieten, wie es die Electromotoren in der Berührung thun; man kann daher nicht geradezu den einen Stoff poſitiv-, den andern negativ-electriſch nennen, ſondern die Körper bieten eine Reihenfolge dar, in welcher der eine mehr dem negativen, der andre mehr dem poſitiven Ende nahe ſteht. Der Schwefel zum Beiſpiel, welcher ſich in der Schwefelſäure als der poſitive Körper zeigt und zum negativen Pole der Säule hingeht, während der mit ihm verbundene Sauerſtoff zum poſitiven Pole gezogen wird, muß in der Hydrothionſäure ganz gewiß als negativ erſcheinen, weil er hier mit dem Waſſerſtoff, als einem dem poſitiven Ende der Reihe der Körper viel näher ſtehenden Körper, verbunden iſt; und ſo wird in allen Fällen derjenige Körper dem poſitiven Pole zugehen, der als der negative in Vergleichung gegen den andern erſcheint. Nach Berzelius nimmt das Kalium, die metalliſche Baſis des Kali, von allen bekannten Körpern den äußerſten Platz unter den poſitiven ein, ſo wie der Sauerſtoff bis jetzt unbedingt als der am meiſten negative Körper anerkannt iſt.

Dieſes alles veranlaßt uns, die Beſtandtheile der Körper ſelbſt in ihrer Verbindung mit einander noch als entgegengeſetzt electriſch anzuſehen, wo es dann begreiflich iſt, daß bei einer hinreichend ſtarken electriſchen Einwirkung auf ſie der den Umſtänden nach negative Beſtandtheil dem poſitiven Pole, der poſitive dem negativen Pole zugeht. Aber auch bei dem Eingehen in chemiſche Verbindungen und bei den bloß auf chemiſchem Wege erfolgenden Zerſetzungen laſſen ſich die Urſachen der Verbindungen auf eben die Gründe zurückführen. Der Sauerſtoff hat ein großes Beſtreben, ſich mit den Metallen zu verbinden, weil ſeine negativ-electriſche Beſchaffenheit bei der Berührung des Metalles, welches dagegen poſitiv wird, ſtark hervortritt; das Kalium und Natrium, als die am meiſten poſitiven Körper, ſind hiezu am meiſten geneigt. Die Säuren haben, weil ſie ihres Oxygens wegen ſich ſo ſehr zum negativen Zuſtand hinneigen, [1] eine ſtarke chemiſche oder electriſche Anziehung zu den Metallen, Erden u. ſ. w. Wenn dieſe Anziehung ſehr heftig iſt und die chemiſche Verbindung mit vorzüglicher Gewalt geſchieht, ſo giebt die Verbindung beider Electricitäten auch hier, wie in unſern, eigentlich ſo genannten, electriſchen Experimenten, eine Feuererſcheinung, und die Entzündungen ſind der Erfolg dieſes electriſchen Funkens, ſo daß nun ein Grund erhellt, warum die mit großer Gewalt erfolgenden chemiſchen Verbindungen zu Verbrennung, zu

[1] Die Hydrogenſäure aus ähnlichem Grunde, weil zum Beiſpiel Chlor faſt am Ende der negativen Reihe, dem Sauerſtoff zunächſt, ſteht.

Licht- und Wärmeentwickelung, Anlaß geben. Findet eine Verbindung zwiſchen zwei Körpern ſtatt, die in der Reihe der Körper nicht gar weit aus einander ſtehen, ſo trennt ein dritter, entfernter ſtehender Körper dieſe Verbindung durch Wahlverwandtſchaft. Blei zum Beiſpiel iſt mit der Eſſigſäure im eſſigſauren Blei allerdings innig verbunden; aber wenn in eine Auflöſung des eſſigſauern Bleies im Waſſer ein Zinkſtab eingetaucht wird, ſo zeigt das Zink ſich als das mehr poſitive Metall, indem es von der Säure angezogen und aufgelöſt wird, wogegen das Blei ſich ausſcheidet. Das Blei ſetzt ſich hier an den Zinkſtab an, und ſobald nur das erſte Theilchen frei geworden iſt, bilden nun Zink und Blei eine durch die Auflöſung geſchloſſene einfache galvaniſche Kette, in welcher das Blei den negativen Pol darbietet, weil Blei in der Berührung mit Zink negativ-electriſch wird; wegen dieſes Zuſtandes ſetzt ſich ein Theilchen Blei an das andre und bildet den Bleibaum. Auf ähnliche Weiſe erklären ſich die Erſcheinungen, wo ein Körper aufgelöſt und der andre dafür niedergeſchlagen wird, indeß bleibt der Chemie hier die Erklärung im Einzelnen vorbehalten, da theils die Ueberwindung der Cohäſionskräfte einen großen Theil der wirkenden Kräfte erfordern kann, wodurch dann die Auflöſung gehindert wird, theils die Einwirkung mehrerer Körpertheilchen eines an ſich weniger entgegengeſetzt electriſchen Körpers gar wohl ſtärker ſeyn kann, als die Einwirkung weniger Theilchen eines entfernter ſtehenden Körpers; und ſo kommen hier noch viele einzelne Umſtände in Betrachtung. Als Beiſpiel ſolcher Ueberlegungen theile ich nur eines mit. Wenn ein Metall in Waſſer getaucht wird, ſo iſt die Anziehung des Waſſerſtoffs gegen den Sauerſtoff in den Waſſertheilchen zu ſtark, als daß beide getrennt werden ſollten und eine Waſſerzerſetzung entſtände; aber wenn Säure zum Waſſer kommt, ſo iſt der Gegenſatz zwiſchen dem geſäuerten Waſſer und dem Metalle verſtärkt, wodurch dieß in den Stand geſetzt wird, das Oxygen an ſich zu reißen und das Waſſer zu zerſetzen.

Dieſe Theorie erklärt eine Menge einzelner Erſcheinungen, ja ſie giebt zugleich einen Aufſchluß über die Reihenfolge der electromotoriſch wirkenden Körper, indem ſie einen Grund überſehen läßt, warum diejenigen Metalle die am ſtärkſten poſitiven ſind, deren Oxyde am meiſten Verwandtſchaft zu den Säuren zeigen; — dieſe ſtärkere Verwandtſchaft zu den Säuren iſt nämlich ſelbſt durch die electro-poſitive Natur des Metalles beſtimmt. Dagegen bleibt uns allerdings noch manches dunkel, worüber die ſinnliche Wahrnehmung keine unmittelbare Belehrung geben kann. Die Körpertheilchen ſind aufs innigſte verbunden und zeigen ſich dennoch im entgegengeſetzt electriſchen Zuſtande, obgleich man denken ſollte, es müßte hier eine Ausgleichung beider Electricitäten ſtatt finden. Die Körpertheilchen bleiben in dieſem entgegengeſetzten Zuſtande, obgleich ſie im Augenblicke der Verbindung in ſo vielen Fällen durch eine Lichterſcheinung eine theilweiſe Vereinigung beider Electricitäten zeigen. Alle Körper nehmen ihren beſtimmten Platz in dieſer electriſchen Reihenfolge der Körper ein, und dennoch giebt es Leiter der zweiten Art, die in unſern

electriſchen Säulen keine electromotoriſche Wirkſamkeit zeigen. (Gleichwohl geht aus den Verſuchen von Becquerel, de la Rive und Pfaff unzweifelhaft hervor, daß jedes Metall, welches von einer Flüſſigkeit angegriffen wird, negativ wird, während die letztere poſitive Electricität zeigt.) — Ueber dieſe Schwierigkeiten hat vorzüglich Fechner Aufſchluß zu geben geſucht, und ſeine Bemerkungen verdienen wohl erwähnt zu werden. Was die Frage betrifft, warum die Beſtandtheile nach der Vereinigung ſo feſt vereinigt bleiben, wenn auch im Augenblicke der Verbindung beide Electricitäten ſich durch eine Feuerentwickelung neutraliſiren, ſo antwortet Fechner darauf, die electromotoriſche Wirkung beſtehe eben darin, daß ein Theil der poſitiven Electricität des einen Körpers ſich mit einem Theile der negativen Electricität des andern im Uebergange zwiſchen beiden neutraliſire, wo dann der erſtere negativ, der andre poſitiv zurückbleibe. Dieſe Erklärung hat manches für ſich, aber da die Theilchen nicht bloß in ihrer Verbindung entgegengeſetzt ſind, ſondern durch eine auch nach der Trennung ſtatt findende electriſche Beſchaffenheit dem Anziehen des einen oder andern electriſchen Poles folgen, da ſie durch ihre eigenthümliche Natur zur Verbindung angetrieben werden, alſo ſchon eine anziehende Kraft vor der Vereinigung — vermuthlich ein entgegengeſetzt electriſcher Zuſtand — da ſeyn muß, ſo ſcheint mir damit doch noch nicht alle Dunkelheit gehoben zu ſeyn. In Rückſicht der zweiten Schwierigkeit, daß die flüſſigen Leiter in der voltaiſchen Säule nicht electromotoriſch wirken, da doch nach der electro-chemiſchen Theorie vorzüglich die, welche eine ſtarke chemiſche Wirkung zeigen, einen recht ſtarken electromotoriſchen Gegenſatz zeigen ſollten, bemerkt Fechner folgendes. Die Flüſſigkeiten zeigen ſich in der Säule darum nicht als Electromotoren, weil bei der Beweglichkeit ihrer Theilchen ein Hinüberführen der Beſtandtheile nach beiden Polen ſtatt findet. Möchte nämlich auch zum Beiſpiel eine geſäuerte Flüſſigkeit im Ganzen negativ werden an dem Metalle, ſo wird doch gewiß der am meiſten negative Beſtandtheil gegen das poſitive, der am meiſten poſitive Beſtandtheil gegen das negative Metall gezogen, und ſo folgt jener dem poſitiven Strome und befördert ihn, ſtatt daß der andre dem negativen Strome folgt und ihn befördert, ohne daß es dabei darauf ankommt, welche electromotoriſche Wirkung der flüſſige Körper, wenn man ihn von der Beweglichkeit ſeiner Theile befreien könnte, ausüben würde. Dieſe Anſicht hat das für ſich, daß ſie zeigt, wie die chemiſche Einwirkung der Flüſſigkeit zu einer Bedingung der Thätigkeit der Säule wird, obgleich in den Electromotoren ſelbſt der eigentliche Grund der electriſchen Ströme liegt; die von Volta entdeckte Differenz des electriſchen Zuſtandes beider Metalle iſt die Urſache des Hinüberführens der Stoffe, und dieſes macht ferner den durch die ganze Säule gehenden electriſchen Strom möglich, indem da, wo keine Hinüberführung eintritt, keine wirkſame Kette gebildet werden kann. Einige Bemerkungen, die ich künftig anführen werde, geben dieſer Anſicht noch mehr Befeſtigung.

Dieſe Aufklärung über einen ſchwierigen Punkt der Theorie der Säule

vermindert wenigſtens die Schwierigkeit, wenn ſie dieſelbe auch nicht völlig hebt. Für die trockne Säule, in welcher Körper, deren Theile uns unbeweglich erſcheinen, die Leiter der zweiten Art darſtellen, paßt jene Erklärung nicht, und doch wäre es wohl gewagt, bei ihr ein andres Erklärungsprincip anzunehmen. Man hat ein ſolches angenommen, und Davy ſelbſt deutete darauf hin, nämlich daß die Zwiſchenſchichten zwiſchen den Electromotoren, als Halbleiter, iſolirend für ſo ſchwache Electricitäten wirken, und daß daher in der zweiten Zinkſchicht durch Vertheilung mehr poſitive Electricität, unter dem Einfluſſe des durch die Zwiſchenſchicht getrennten negativen Kupfers, condenſatoriſch hervorgerufen werde; aber dieſe Theorie ſcheint unzuläſſig, da dann dickere Zwiſchenſchichten, aus jenen Halbleitern gebildet, der Verſtärkung der Säule viel nachtheiliger entgegenwirken müßten, als es nach den Erfahrungen der Fall iſt.

Ich verlaſſe dieſe ſchwierigen Gegenſtände, zu denen ich bei einer andern Gelegenheit zurückkehren muß, und füge jetzt noch einige merkwürdige Erſcheinungen hinzu, die bei den chemiſchen Wirkungen der Säule vorkommen.

Beſondere chemiſche Wirkungen. Nobili's electrochemiſche Figuren.

Unter den zahlreichen Merkwürdigkeiten, welche die Zerſetzungen und Verbindungen unter dem Einfluß der electriſchen Ströme darbieten, will ich hier nur eine erwähnen.

Wenn man in Auflöſungen von Metallſalzen die beiden Polardrähte einander gegenüber ſtellt, ſo hängt ſich in vielen Fällen das Metall in Blättchen, die ſich an einander anſetzen, in andern mehr ohne beſtimmte Form an, und die Oxydirung am andern Drahte oder die Verbindung des dortigen Metalls mit Säure zeigt ſich gegen die Spitze zu ohne beſonders merkwürdige Bildung. Bringt man dagegen einem Metalldrahte, am beſten einem ſehr fein geſpitzten, gegenüber eine ſchön polirte Metallplatte an, ſo zeigen ſich in vielen Fällen die ſchönſten farbigen Kreiſe, die von ihrem Entdecker Nobili die Nobili'ſchen Figuren heißen. Nobili hat zahlreiche einzelne Fälle unterſucht und die Erfolge angegeben; ich werde mich begnügen, einige wenige zu erzählen.

Wenn man eine Säule von etwa 12 Plattenpaaren mit einer nicht allzuſchwach wirkenden ſalzigen Flüſſigkeit aufbaut und den Draht des negativen Poles mit einer Platinplatte in Verbindung ſetzt, die mit einer Schicht in Waſſer aufgelöſten Bleizuckers bedeckt iſt, dann aber die Spitze des vom negativen Pole kommenden Drahtes in dieſe Auflöſung taucht, ſo daß die Spitze nur $\frac{1}{2}$ oder 1 Linie vom Platin entfernt iſt, ſo bilden ſich in wenigen Augenblicken die ſchönſten Farbenkreiſe um den Mittelpunkt, gegen welchen hin der Draht in unverrückter Lage feſtgehalten wird. Die Farbenfolge iſt: in der Mitte eine dunkle Fläche von drei violetten und grünen Ringen umgeben, dann zwei Ringe, die vom Violett zu Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett übergehen, ferner ein Ring, wo nach dem Roth und Gelb, Weiß und dann Blau, Violett folgt, endlich noch ein ſehr mit Violett gemiſchtes Roth und

dann Orange. Die äußern Farbenfolgen nehmen viel mehr Raum ein, als die innerſten Ringe.

Dieſes Experiment iſt wegen der Sicherheit und Schnelligkeit, mit welcher es auf polirtem Platin gelingt, vorzüglich angenehm, und wenn man keine Platinplatte hat, ſo dient die Oberfläche der mit einem ſehr dünnen Platinüberzuge verſehenen Porcellangefäße ſehr gut dazu. Mehr Zeit fordert ein gleicher Verſuch auf polirtem Silber, wo übrigens, wenn man den electriſchen Strom lange genug auf denſelben Punkt gehen läßt, Ringe von ähnlicher Farbenfolge, doch nicht ſo überaus ſchön wie im vorigen Falle, hervorgehen.

Bei den letztern iſt merkwürdig, daß ſie durch das vom hellen Himmel reflectirte Licht andre Farben zeigen, als wenn man ſie in einer Richtung ſieht, wohin jene reflectirten Strahlen nicht gelangen. Eben jene Auflöſung giebt auch auf polirtem Stahl Farbenringe.

Auf poſitivem Silber gehen auch, wenn es ſich unter einem recht ſtark gefärbten Aufguß von braunem Kohl befindet, ſchön gefärbte Ringe hervor. Auf Stahl dagegen habe ich dieſe nicht erhalten können.

Dieſe Ringe ſind genau concentriſche Kreiſe, wenn die Wirkung regelmäßig ſtatt gefunden hat. Sie finden ſich in zahlreichen Fällen ſchön ausgebildet, wenn die Metallplatte poſitiv iſt, aber auch das negative Metall giebt (zum Beiſpiel wenn Silber unter der Auflöſung eſſigſauern Kupfers liegt) in einigen Fällen ſchöne Ringe. Ohne Zweifel entſtehen ſie durch höchſt dünne Schichten eines Körpers, der ſich auf dem Metalle anſetzt oder mit Hülfe dieſes Metalles ſelbſt entſteht, und ſind folglich wohl mit dem Anlaufen des Stahles zu vergleichen. Aber was bei dem für Eſſigſäure und andre Säuren unangreifbaren Platin dieſe Veränderungen hervorbringt, weiß ich nicht zu erklären.

Ganz dieſen Erſcheinungen auf negativen Metallen verwandt iſt diejenige Erſcheinung von Farbenringen, die man erhält, wenn man auf Platin oder Silber eine Auflöſung des ſchwefelſauern Kupfers in Waſſer gießt und das Metall mit einer Zinkſpitze in der Auflöſung berührt. Es entſtehen ſogleich um den berührten Punkt Ringe, die offenbar auch hier von der Wirkung einer galvaniſchen einfachen Kette abhängen, in welcher das die Ringe darbietende Metall das negative iſt. In den Ringen tritt Kupferroth und Gelb beſonders hervor. Offenbar iſt es hier niedergeſchlagenes Kupfer auf dem negativen Metalle, das ſich beſonders in der Mitte ſehr feſt mit dem Silber vereinigt.

Ungleiche Anziehungswirkungen der poſitiv und negativ geladenen Leiter.

Noch eine Erfahrung, die mit den bisher abgehandelten Gegenſtänden in Verbindung ſteht, will ich hier zum Schluſſe anführen. Man hatte ehemals als ſehr entſcheidend für die frankliniſche Theorie einen, unter andern von Cuthbertſon angeführten, Verſuch mit der Electriſirmaſchine angeſehen, der ſo angeſtellt wird, daß man der Kugel des poſitiv geladenen electriſchen

Leiters A gegenüber eine andre Kugel B mit Ableitung zur Erde (XIV. Fig. 14) aufſtellt und zwiſchen beide eine Lichtflamme C bringt. Dieſe wird nach der negativen Seite hinüber gezogen, belegt die Kugel B mit Ruß und erhitzt dieſe weit ſtärker, als die poſitive Kugel A. Der Schluß ſchien natürlich, daß hier die, nach Franklin's Meinung, einzige electriſche Materie von A nach B ſtröme und die Flamme mit ſich fortreiße. Aber dieſer Schluß iſt von Brande ſehr beſtimmt widerlegt worden, indem die Phosphorflamme gerade die entgegengeſetzten Phänomene zeigt. Statt alſo hier von dem kenntlichen Hinüberſtrömen der electriſchen Materie zu reden, muß man aus dieſen Verſuchen ſchließen, daß die im Brennen des Phosphors entſtehende Phosphorſäure von dem poſitiv-electriſchen Körper angezogen wird und daſſelbe auch bei benzoeſaurem Dampfe und in andern Fällen ſtatt findet, daß dagegen die aus Waſſerſtoff und Kohlenſtoff beſtehenden Flammen, vorzüglich die des Camphers, von dem negativ-electriſchen Körper angezogen werden, welches auch deutlich bei der Flamme des Kalium der Fall war.

Siebenzigſte Vorleſung.

Die chemiſchen Wirkungen der Säule führen zu einer ſo mannigfaltigen Reihe von Unterſuchungen, daß mir nicht allein unmöglich ſeyn wird, dieſe erſchöpfend darzuſtellen, ſondern ſogar ſchon ſchwierig ſcheint, das Wichtigſte in einer für alle einzelne Gegenſtände recht paſſenden Anordnung mitzutheilen. Indeß werde ich ſuchen, diejenige Anordnung zu wählen, welche die Ueberſicht am meiſten erleichtert.

Chemiſche Wirkungen in der Säule ſelbſt.

Daß auch die Flüſſigkeiten, die ſich zwiſchen den Schichtungen der Säule ſelbſt befinden, eine Zerſetzung erleiden müſſen, läßt ſich leicht einſehen. Sobald nämlich die Säule geſchloſſen iſt, befindet ſich jede feuchte Zwiſchenſchicht, ſie ſey nun als Befeuchtung eines lockern Körpers in der aufgebauten Säule, oder ſie ſey völlig flüſſig in den Zellen des Trogapparates zwiſchen den Metallplatten enthalten, in dem electriſchen Strome, durch welchen die Säuren und das Oxygen dem poſitiven, der Waſſerſtoff und die Alcalien dem negativen Metalle zugeführt werden. Vermöge dieſer Zerſetzung wird die Oxydirung des Zinkes und ſeine Verbindung mit den Säuren, die ſchon durch gewöhnliche chemiſche Wirkung eintreten würde, in hohem Grade befördert, und auch die Kupferoberfläche leidet durch die ihr zugeführten Stoffe Veränderungen. Jene Auflöſung des Zinkes in der Feuchtigkeit der Zwiſchenſchichten bringt als entferntern Erfolg ein Hindurchgehen des Zinks durch dieſe und einen Zinkniederſchlag auf dem Kupfer hervor, indem ſich auch in Beziehung auf dieſes

in der Flüſſigkeit der Zwiſchenſchichten neu aufgelöſte Metall die zerſetzende Kraft der electriſchen Ströme und das Hinüberführen des Metalles nach der negativen Seite äußert. [1]

Dieſe ſichtbaren Veränderungen ſchwächen nun in hohem Grade die Wirkſamkeit der Säule, und dieß ſcheint davon abzuhängen, daß ſie theils die Zinktheile auf dem Kupfer niederlegen und ſo dem an beiden Seiten, wenn auch nur theilweiſe, mit Zink in Berührung geſetzten Kupfer ſeine electromotoriſche Wirkſamkeit rauben, theils in die Strömungen der hinübergeführten Theilchen, die zur Unterhaltung der electriſchen Ströme weſentlich ſind, eine Stockung bringen, theils andre Stoffe erzeugen und die Leitung der electriſchen Ströme in der geſchloſſenen Kette hindern. Allerdings liegen hierin Gründe für eine Schwächung der Wirkung, aber da dieſe Schwächung ſchon weit eher in bedeutendem Grade eintritt, ehe die Veränderungen ſich ſtark genug zeigen, denen man eine merklich verminderte electromotoriſche Wirkung beilegen könnte, ſo haben ſich an die Beobachtungen über dieſe abnehmende Kraft der Säule wichtige Einwürfe gegen Volta's Theorie angeſchloſſen.

Abſorption von Sauerſtoffgas.

Dieſe Einwürfe fanden eine neue Stütze darin, daß die Wirkſamkeit der electriſchen Säule ohne Zutritt des Sauerſtoffgaſes gar nicht ſtatt zu finden ſcheint. Die geſchloſſene Säule abſorbirt das Sauerſtoffgas, und wenn ſie ſich in einem eingeſchloſſenen Raume befindet, ſo hört ihre Wirkſamkeit ganz auf, wenn alles Sauerſtoffgas verzehrt iſt, erneuert ſich aber wieder, wenn man einen Vorrath von Sauerſtoffgas in die umgebende Luft hineinbringt. Um dieſes zu zeigen, hat man nur nöthig, über eine voltaiſche Säule, die mit ſalzigem Waſſer aufgebaut iſt und auf einer Unterlage in einem mit Waſſer gefüllten Teller ſteht, nachdem ein Schließungsdraht zu Verbindung beider Pole angebracht iſt, ein cylindriſches Glas, das durch die Säule großentheils ausgefüllt wird, zu ſtürzen, damit die die Säule umgebende Luft völlig abgeſperrt ſey. Man findet dann, daß nach einigen Stunden das Waſſer in dem Glaſe aufgeſtiegen, die Luft alſo vermindert iſt; in längerer Zeit erreicht dieſe Abſorption ihre Grenze, und wenn man dann die noch übrige Luft unterſucht, ſo findet man ſie ihres Sauerſtoffs beraubt. Wenn man die Einrichtung ſo gemacht hat, daß ſich am Schließungsdrahte ein zur Waſſerzerſetzung dienendes Röhrchen befindet, das die Enden der Schließungsdrähte aufnimmt, ſo bemerkt man, daß die Waſſerzerſetzung aufhört, wenn das Sauerſtoffgas der umgebenden Luft verzehrt iſt, daß ſie aber wieder anfängt, wenn man neues Sauerſtoffgas in das die Säule bedeckende Gefäß gelangen läßt, wogegen Hydrogengas und andre keinen Sauerſtoff enthaltende Luftarten keine Verſtärkung der Wirkungen der geſchloſſenen Säule hervorbringen. Die Abſorption des Sauerſtoffs iſt bei kleinplattigen Säulen, oder eigentlich bei Säulen, deren der Luft ausgeſetzte Oberfläche in Vergleichung gegen den

[1] Das Zink vereinigt ſich wohl ſogar mit dem Kupfer zu einem dünnen Ueberzuge von Meſſing. (M.)

Querſchnitt größer iſt, bedeutender. Die Urſache dieſer Abſorption, ſo wie der eigentliche Grund ihres Erfolges in Beziehung auf die Wirkſamkeit der Säule, iſt noch nicht völlig aufgeklärt; doch kommen wir noch auf mehrere ſich hieran anſchließende Erfahrungen.

Einwürfe gegen die voltaiſche Theorie.

Dieſe offenbare Abhängigkeit der Wirkung der Säule von der Gegenwart des Oxygens hat zu mehreren Einwürfen gegen die Theorie Volta's Veranlaſſung gegeben. Es bietet ſich nämlich allerdings die Frage dar, ob nicht, da die Entſtehung und Fortdauer des electriſchen Stromes ſo deutlich an die chemiſche Einwirkung der Flüſſigkeit auf die Platten geknüpft iſt, dieſe chemiſche Einwirkung als der erſte Urſprung aller hier vorkommenden Erfolge anzuſehen ſey. Unter Allen, die ſich für dieſe Anſicht zu erklären geneigt waren, iſt wohl Niemand weiter gegangen als de la Rive, welcher geneigt iſt, ſelbſt den voltaiſchen Fundamentalverſuch als von chemiſchen Bedingungen abhängend anzuſehen. Parrot's Einwürfe, die auf der Meinung beruhen, daß dieſer Fundamentalverſuch eine eigenthümliche Entſtehungsart der Electricität überhaupt nicht nachweiſe, übergehe ich, da es jetzt nicht mehr möglich iſt, irgend noch daran zu zweifeln, daß bei trockener Berührung von Zink und Kupfer Electricität auf die früher ſchon angegebene Weiſe hervorgehe. Aber de la Rive bemerkt, die Berührung des Fingers und die Einwirkung der atmoſphäriſchen Luft könnten wohl auf die allerdings hervorgehende Berührungselectricität Einfluß haben, und ſeine Verſuche zeigen, wie er glaubt, daß in Hydrogengas der voltaiſche Verſuch nicht gelinge. Da de la Rive die Berührung der Hand an den Metallen vermeiden wollte, ſo bediente er ſich einer hölzernen Zange, alſo, da dieſe nicht feucht ſeyn durfte, eines ſehr unvollkommenen Leiters, und hierin lag wohl die Urſache, warum er eine ſchwache oder gar keine Electricität bei der Berührung der beiden Metalle erhielt. Pfaff und Becquerel haben eben die Verſuche ſo angeſtellt, daß weder die Hand noch die atmoſphäriſche Luft einwirken konnte, und haben dennoch am Condenſator eben die Anzeigen von Electricität erhalten, die uns ſchon bekannt ſind. Becquerel nämlich bediente ſich eines Condenſators, deſſen eine Platte ſorgfältig vergoldet war, ſo daß hier Gold ſtatt des Kupfers angewandt wurde; die zweite Condenſatorplatte beſtand zwar aus Zink, ſie war aber der Einwirkung der Luft und der feuchten Hand dadurch entzogen, daß ſie an allen Seiten vollkommen mit Firniß überdeckt war und nicht ſie, ſondern nur ein an ſie angelöthetes Platinſtäbchen berührt wurde. Hier waren alſo Gold und Platin die beiden Metalle, die bei der Ladung des Condenſators berührt wurden, — beides Metalle, die der Oxydation gewiß ſo wenig ausgeſetzt ſind, daß Niemand ihrer Oxydation während der Berührung die Wirkungen zuſchreiben wird, welche ſich hier darbieten. Dennoch erhielt hier die vergoldete Condenſatorplatte eine negative Ladung, wenn man, während die Zinkplatte ſich auf der untern Condenſatorplatte aufgeſetzt befand, das Platinſtäbchen mit der

Erde in leitende Verbindung ſetzte und dann nach gehöriger Ladung des Condenſators die obere Condenſatorplatte abhob; alſo hatte die Zinkplatte durch die in der Löthung ſtatt findende Berührung des Platins poſitive Electricität angenommen, obgleich die Zinkplatte nirgends der Luft ausgeſetzt war. Pfaff ſtellte den voltaiſchen Verſuch in einer Glocke an, die mit Waſſerſtoffgas oder andern Luftarten gefüllt war; zwei durch luftdichte Faſſungen in dieſen innern Raum der Glocke hinein reichende Handgriffe waren ſo eingerichtet, daß der eine zum Laden des Condenſators, der andere zum Abheben der obern Platte diente. Die eine Platte des Condenſators beſtand aus Zink, die andere aus Kupfer, und die Ladung geſchah dadurch, daß ein Kupferdraht mit der obern und untern Platte zugleich, vermittelſt des aus der Glocke hervorreichenden Handgriffes, in Berührung geſetzt, nachher aber entfernt wurde; während der Berührung mußte die Zinkplatte poſitive Electricität von der untern Platte erhalten, wie wir es nach Volta's Anſicht immer gefunden haben, und die untere Platte mußte, nach dem Aufheben der oberen, ſich negativ zeigen; dieſes fand ſich auch wirklich ſo, es mochte die den Condenſator umgebende Luft feucht oder trocken ſeyn und Oxygen enthalten oder nicht. So kann alſo dieſer Einwurf wohl als gehoben angeſehen werden, und die Entſtehung der Contactelectricität zeigt ſich als unabhängig von der Gegenwart des Oxygens.

Schwieriger iſt die Beantwortung der Frage, wie die Entſtehung und Unterhaltung des electriſchen Stromes in der geſchloſſenen Säule an die Oxydirung der Metallplatten geknüpft ſey, und ob ſie ſo daran geknüpft ſey, daß dieſe als ein weſentliches Erforderniß angeſehen werden müſſe. Um hierüber etwas zu entſcheiden, hat ſchon Davy eine Reihe von Verſuchen angeſtellt, die ich bald nachher anführen werde; hier begnüge ich mich, folgende zwei Arten von Verſuchen anzugeben. Wenn die Wirkſamkeit der Säule von der oxydirenden Einwirkung als einer weſentlichen Urſache abhinge, ſo müßten die am ſtärkſten angegriffenen Platten nach dem Maaße dieſer Veränderung auch auf einerlei Weiſe den electriſchen Strom hervorbringen; das iſt aber nicht der Fall, wie folgender Verſuch von Ohm zeigt. Wenn man in einer gebogenen Röhre den untern gekrümmten Theil mit Asbeſt, der mit verdünnter Salpeterſäure befeuchtet iſt, ausfüllt, damit die Flüſſigkeiten in beiden Schenkeln zwar in leitender Verbindung ſtehen, aber doch nicht zu einander übergehen können, und dann den einen Schenkel mit verdünnter Salpeterſäure, den andern mit einer ganz geſättigten Auflöſung von Zink in Salpeterſäure füllt, ſo iſt es bekannt, daß Kupfer in jene eingetaucht aufgelöſt wird, während Zink in die letztere eingetaucht, wegen der vollkommenen Sättigung, gewiß nicht angegriffen wird; dennoch aber entſteht, wenn Zink und Kupfer durch einen metalliſchen Leiter in Verbindung geſetzt werden und das Kupfer in die verdünnte Säure, das Zink in die geſättigte Zinkauflöſung getaucht wird, derſelbe electriſch-poſitive Strom vom Kupfer zum Zink, wie wir ihn ſonſt zu finden gewohnt ſind. Ganz ähnliche Verſuche von Berzelius, Marianini u. A. beweiſen daſſelbe.

Eine andere Art von Beweis gegen die Oxydationstheorie geben Verſuche von Fechner, in welchen ebenſo wie in den eben angeführten der Multiplicator, deſſen Einrichtung ich erſt ſpäter beſchreiben kann, angewandt ward, um die Richtung und Stärke des electriſchen Stromes zu beſtimmen. Wenn man in einen Trogapparat eine Anzahl Plattenpaare ſo einſenkt, daß ſie dem Geſetze der Säule gemäß in gleicher Ordnung fortgehen, aber nun eine ebenſo große Anzahl entgegengeſetzt geordneter Plattenpaare hinzufügt, ſo müſſen dieſe, wenn man ſie als eine einzige zuſammenhängende Reihe behandelt [1] und eine Schließung anbringt, gewiß ohne alle Wirkung ſeyn, wenn man ſie gleich tief in die Flüſſigkeit einſenkt; dagegen ſollte man nach der Oxydationstheorie erwarten, daß die ſich gegenſeitig völlig zerſtörende Gleichheit der Wirkung aufhöre, wenn die nach der einen Richtung geordnete Folge tiefer als die entgegengeſetzt geordnete eingetaucht wird; aber dieſes iſt nicht der Fall, ſondern es entſteht auch dann kein electriſcher Strom. Nach Volta's Theorie iſt das ganz richtig, indem zehn Schichtungen Kupfer, Zink, feuchter Leiter einen zehnfach verſtärkten electriſchen Strom nach der einen Richtung hervorbringen ſollten, dem aber der zehnfach verſtärkte electriſche Strom von der entgegengeſetzten Seite her das Gleichgewicht hält, auch wenn dort die Größe der Platten oder ihres befeuchteten Theiles eine andere iſt. Nach dieſer Theorie ſteht die Wirkung der größern und kleinern Platten ſich ſo gegenüber, wie in der Hydroſtatik der Druck des Waſſers in einer weiten und in einer engen Röhre, wo die Höhe des Waſſers dieſelbe iſt. Eben dieſes Gleichgewicht beſteht auch noch, wenn eine der entgegengeſetzten Reihen von Plattenpaaren in reines Waſſer, die andere in ein mit Salzſäure geſäuertes Waſſer getaucht iſt; aber hier beſteht das Gleichgewicht nur kurze Zeit, und ſehr bald wirkt die Säure ſchwächer (gegen die Anſicht der Oxydationstheorie), welches gewiß davon herrührt, daß die veränderte Oberfläche der Metalle in der Säure eine Verminderung der electromotoriſchen Thätigkeit zur Folge hat.

Dieß wird zur Wiederlegung der Anſicht, daß der electriſche Strom ſich nach dem Maaße der ſtärkern oxydirenden Einwirkung auf die Zinkoberfläche beſtimme, wohl hinreichen. Auf andere Betrachtungen, die ſich hieran anſchließen, komme ich ſpäter zurück.

Voltaiſche Säule aus zwei Flüſſigkeiten und einem feſten Körper.

An dieſe Unterſuchungen über den Zuſammenhang der chemiſchen Wirkungen auf die Plattenpaare mit den electriſchen Erſcheinungen der Säule knüpfen ſich andere Verſuche Davy's, die hier angeführt zu werden verdienen. Davy machte bei dem Aufbauen einer Säule von Gold und Silber die Bemerkung, daß, wie ſich erwarten ließ, dieſe Säule wenig Wirkung that, wenn Waſſer der feuchte Leiter war, weil jene zwei Metalle in der Reihe der Electromotoren einander zu nahe ſtehen; aber wenn Salpeterſäure als feuchter

[1] Nämlich ſo, daß Zink, Kupfer, Waſſer; Zink, Kupfer, Waſſer; Kupfer, Zink, Waſſer; Kupfer, Zink, Waſſer die Reihen bilden.

Leiter diente, ſo brachte die Säule viel größere Wirkungen hervor. Davy ſah dieſen Verſuch zuerſt als der Oxydationstheorie günſtig an, weil die ſtarke Wirkung der Salpeterſäure auf Silber und die geringe Wirkung auf Gold hier den Gegenſatz zu bewirken ſchien; da er aber nachher von dieſer Anſicht zurückgekommen iſt, ſo will ich nur die Schlüſſe, die wichtiger ſind, hier ausheben. Eine Säule, worin die feuchten Schichten theils mit Waſſer, theils mit Salpeterſäure benetzt waren, gab, wenn man Zinn unten, dann Salpeterſäure, dann Waſſer auf einander ſchichtete und ſo die Säule fortbaute, dann aber von der obern und untern Schicht die Schließungsdrähte in eine Röhre mit Waſſer leitete, am untern Drahte Oxygengas, am obern Hydrogengas; es war alſo von der Säure zum Zinn ein poſitiver Strom entſtanden, der die angegebenen Wirkungen hervorbrachte, und es ließ ſich dieß ſo anſehen, als ob Säure und Metall in eine electromotoriſche Thätigkeit geſetzt wären, wobei die Säure negativ, das Metall poſitiv wird. Dieſe Anſicht wurde durch die Berührung der Metalle mit trockenen Säuren, Boraxſäure, Sauerkleeſäure u. ſ. w. beſtätigt; Kupfer, mit dieſen in Berührung gebracht, wird poſitiv, wogegen die Säure negativ gefunden wird. Die entgegengeſetzte Wirkung zeigen die alcaliſchen Stoffe und der Schwefelwaſſerſtoff, der in dieſer Hinſicht jenen ähnlich iſt. Es ſey ein voltaiſcher Becherapparat, in welchem Waſſer im einen und eine alcaliſche Flüſſigkeit im andern Becher und ſo fort abwechſelnd ſich in den Bechern befinden, aufgeſtellt; der erſte Becher ſey mit dem zweiten durch einen feuchten Leiter, der zweite mit dem dritten durch ein Metall, der dritte mit dem vierten durch einen feuchten Leiter, der vierte mit dem fünften durch ein Metall verbunden u. ſ. w.; dann wird der poſitiv-electriſche Strom vom Metalle zu der alcaliſchen Flüſſigkeit übergehen und der ſo angeordnete galvaniſche Apparat ſeine Wirkſamkeit zeigen. Hier zeigen alſo auch die Flüſſigkeiten eine electromotoriſche Thätigkeit auf ganz beſtimmte Weiſe.

Mit dieſen Verſuchen ſtimmen ſpätere, welche an der einfachen galvaniſchen Kette mit Hülfe des electromagnetiſchen Multiplicators angeſtellt ſind, überein. Wenn man Platin an der einen Seite mit einer in Kaliauflöſung getränkten Pappſcheibe, an der andern mit einer in Säure getränkten Pappſcheibe in Verbindung ſetzt, ſo wird, wenn ein Leitungsdraht jene feuchten Scheiben verbindet, der poſitive Strom vom Metalle zum Kali und von der Säure zum Metalle gehen; oder wenn man jene zwei befeuchteten Scheiben K (Kali), S (Säure) (XIV. Fig. 9) auf einander legt und die oberhalb und unterhalb liegenden Platinſcheiben durch den Leitungsdraht verbindet, ſo geht der Strom ſo wie die Figur anzeigt, nämlich vom Metalle zum Kali, von der Säure zum Metalle. Neuerdings hat ein Phyſiker eine Eiſenſäule conſtruirt, die einen Strom von ungewöhnlicher Stärke gab. Sie beſteht aus einem einzigen Eiſencylinder, der mit einem hohlen Eiſenblechcylinder combinirt und von dieſem durch eine poröſe gleichfalls cylindriſche Thonzelle getrennt iſt;

die letztere iſt mit verdünnter Schwefelſäure, der äußere Cylinder aber mit einem Gemiſch aus Salpeterſäure und Schwefelſäure gefüllt.

Daß dieſe Einwirkung der flüſſigen Körper nun gar wohl eine Aenderung in der durch zwei Metalle hervorgebrachten Richtung des Stromes bewirken könne, iſt einleuchtend. Eiſen und Kupfer, die ſich als Electromotoren einigermaßen nahe ſtehen, bringen bei der Berührung einen nur ſchwachen electriſchen Strom, wo der poſitive Strom vom Kupfer zum Eiſen geht, hervor; dieſer Strom zeigt ſich bei Säulen, die mit Waſſer oder mit Auflöſungen von Neutralſalzen aufgebaut ſind, dieſem Geſetze gemäß; aber wenn man die Säule mit geſättigter Kalilauge oder mit flüſſiger Schwefelleber aufbaut, ſo hat der Strom die entgegengeſetzte Richtung, weil nun der vom Kupfer zum Kali gehende Strom ohne Zweifel mächtiger als der vom Kupfer zum Eiſen und vom Eiſen zum Kali gehende Strom iſt. Daß übrigens hiebei der flüſſige Leiter immer in ſo fern, als ſeine Theile beweglich ſind, in einer andern Weiſe ſeine Wirkſamkeit ausübt, als feſte Leiter, brauche ich nicht zu erwähnen.

Auch aus einem feſten und einem flüſſigen Leiter kann man eine Säule conſtruiren, wenn jener auf beiden Seiten verſchieden beſchaffen iſt; z. B. aus Zinkſtreifen, die an der einen Seite polirt, an der andern oxydirt ſind, oder aus Scheiben von Silberpapier, wobei das Metall auf der einen Seite mehr oxydirt iſt als auf der anderen. Schon Zamboni conſtruirte ſolche Säulen, die er zwei=elementige nannte.

Hierher gehört endlich noch die Gasbatterie von Grove, beſtehend aus Platinſtreifen und Röhren, welche oben theils Sauerſtoff, theils Waſſerſtoff, unten aber verdünnte Schwefelſäure enthalten. Sie bringt ſehr beträchtliche Wirkungen hervor.

Widerſtand der Leitung des Stromes.

Wir haben bisher den Urſprung des electriſchen Stromes kennen zu lernen geſucht und ihn dem Weſentlichen nach immer als von der electromotoriſchen Wirkſamkeit der Körper abhängig gefunden; aber wir müſſen auch nach den Hinderniſſen fragen, die ſich dieſem Strome entgegenſetzen, und die Betrachtung derſelben wird uns noch einige Hülfsmittel zur Aufklärung der noch übrigen Dunkelheiten gewähren. Daß der electriſche Strom weder in der Säule ſelbſt, noch im Schließungsdrahte ſo fortgeleitet wird, daß man dieſe Leitung als durchaus ungehindert anſehen könnte, iſt ſchon öfter erwähnt worden, und läßt ſich bei minder guten Schließungsleitern, z. B. wenn die Schließung durch eine längere Waſſermaſſe bewirkt wird, daran erkennen, daß da die Enden der Säule und die ihnen zunächſt liegenden Theile des leitenden Waſſers eine deutliche Ladung zeigen. Da nun auf dem ſchnellen Fortſtrömen des electriſchen Stromes ein großer Theil der Wirkungen beruht, ſo iſt es wichtig, die Hinderungen dieſes Fortſtrömens kennen zu lernen.

Daß in der Säule ſelbſt immer, ſie ſey nun in Form der Säule aufgebaut oder in einem Trogapparate angeordnet, ein Widerſtand ſtatt finde,

davon kann man ſich durch Verſuche leicht überzeugen. Wenn man nämlich die Kraft des electriſchen Stromes durch paſſende Mittel abmißt [1], ſo findet man ſie abnehmend, wenn man den Abſtand der Platten von einander im Trogapparate vermehrt, und es ergiebt ſich daraus ein Mittel, den ungleich großen Leitungswiderſtand verſchiedener Flüſſigkeiten zu vergleichen, wenn man durch weitere Abſtände in der beſſer leitenden Flüſſigkeit Gleichheit der Wirkung mit der nähern Stellung in der ſchlechter leitenden Flüſſigkeit hervorbringt.

Dieſe Verſuche, wo der Abſtand der Platten im Trogapparate geändert wird, zeigen, daß der Widerſtand einer beſtimmten Flüſſigkeit dieſem Abſtande proportional iſt. Dieſer Widerſtand zeigt ſich bei größern Platten minder wirkſam als bei kleinern, und iſt bei kleinern Platten alsdann bedeutender, wenn die flüſſige Maſſe nur eben den Durchſchnitt hat, wie die Platten ſelbſt. Dieſer eigentliche Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten läßt ſich auch dadurch beſtimmen, daß ein flüſſiger Körper einen Theil des Schließungsleiters ausmacht. Die flüſſigen Körper leiten ſehr ungleich. Waſſer iſt ein ſehr ſchlechter Leiter, deſſen Leitungsfähigkeit aber ſchon durch ein wenig darin aufgelöſtes Kochſalz und noch beſſer durch darin aufgelöſten Salmiak geſteigert wird. Pfaff hat Vergleichungen zwiſchen der Leitung der Metalle und flüſſiger Leiter angeſtellt, und gefunden, daß concentrirte Salmiakauflöſung einen Querſchnitt von 6 Quadratzoll haben mußte, um ebenſo gut zu leiten als ein Eiſendraht von $1/_{41000}$ Quadratzoll Querſchnitt, ſo daß man alſo den Leitungswiderſtand in jener Flüſſigkeit 250,000mal ſo groß als im Eiſen angeben kann.

Mit dieſem Leitungswiderſtande in der Flüſſigkeit verbindet ſich aber noch der Widerſtand beim Uebergange aus der Flüſſigkeit in die Metallplatten. Daß dieſer ſehr merklich iſt, hat ſchon Marianini dadurch gezeigt, daß er die durch Hineinbringung unwirkſamer Metallplatten herabgeſetzte Kraft des electriſchen Stromes nachwies, aber Fechner hat dieſen Gegenſtand viel vollſtändiger behandelt. Der wichtige Umſtand, daß die Wirkſamkeit der voltaiſchen Apparate ſo beſtimmt von der chemiſchen Einwirkung der Flüſſigkeit auf die Platten abhängt, ſcheint ganz auf dieſem Leitungswiderſtande des Uebergangs zu beruhen. Dieſelbe Flüſſigkeit zeigt ſich nicht als gleich gut leitend oder als gleich gut die Wirkung der Säule befördernd bei allen zur Säule angewandten Metallen (und dieß iſt es, worauf ich früher hindeutete, als ich Volta's Meinung über die ungleiche Wirkung der Flüſſigkeiten anführte), ſondern die Metalle, die einer ſtärkern chemiſchen Einwirkung unterworfen ſind, gewähren derſelben Flüſſigkeit den Vorzug einer beſſern Leitung; dabei iſt allerdings das gewiß, daß die Innigkeit der Berührung, das eigentliche Eindringen der Flüſſigkeit in die Oberfläche des feſten Körpers, mit der chemiſchen Einwirkung ſehr nahe verbunden iſt. Hierauf alſo ſcheint es zu beruhen, daß ein völlig luftfreies, ganz reines Waſſer, wenn der Zutritt

[1] Dieſes geſchieht am beſten durch die electromagnetiſchen Wirkungen; aber auch die Menge des bei der Waſſerzerſetzung entwickelten Gaſes kann einigermaßen dazu dienen.

des Sauerſtoffgaſes ausgeſchloſſen iſt, ganz und gar keine Wirkung einer aus Kupfer- und Zinkplatten aufgebauten Säule geſtattet, und daß nach dem Abſorbiren alles Sauerſtoffs aus der umgebenden Luft die Wirkſamkeit der in andern Luftarten eingeſchloſſenen Säule aufhört.

Dieſer Leitungswiderſtand iſt, wie Fechner umſtändlich zeigt, im erſten Anfange der Wirkſamkeit der Kette für die negativen und für die poſitiven Metalle in der Kette gleich; aber nach längerer Wirkung zeigt ſich das negative Metall als den größern Leitungswiderſtand im Uebergange gebend. Die Verſuche hierüber ſind ſo angeſtellt, daß bei den vergleichenden Verſuchen das eine Mal die beiden wirkſamen Platten K, Z in beſtimmtem Abſtande (XIV. Fig. 10) aufgeſtellt und durch den bei U in Queckſilber tauchenden Leitungsdraht verbunden wurden, das andre Mal aber (Fig. 11) außer den wirkſamen Platten K, Z noch die unwirkſamen Z′, Z′ in eben den flüſſigen Leiter eingeſchoben wurden und die Verbindung durch die Queckſilbergefäße U, U, U ſtatt fand, ſo daß in beiden Fällen die Leitung zwiſchen L M nicht unterbrochen war. War nun hier im erſten Falle der Abſtand K Z ebenſo groß als die Summe der Abſtände K Z, Z′ Z′ im zweiten Falle, ſo konnte der eigentlich ſo zu nennende Leitungswiderſtand der Flüſſigkeit nicht ungleich ſeyn; war überdieß die Verlängerung des metalliſchen Schließungsleiters L M unbedeutend, ſo konnte die veränderte Wirkſamkeit nur von jenem Uebergange auf Zwiſchenplatten abhängen. Jener eben vorhin ausgeſprochene Satz wurde nun dadurch bewieſen, daß an der Stelle Z′ Z′ bald Zinkplatten, bald Kupferplatten als Zwiſchenplatten angewandt wurden. Hieraus erklärt ſich der ſchon früher erwähnte Umſtand, daß man in den voltaiſchen Trogapparaten zwar mit Vortheil (Fig. 2) der Zinkplatte an beiden Seite eine Kupferplatte gegenüber ſtellen, ja dieſe Kupferplatten ſogar mit Vortheil größer als die Zinkplatte nehmen kann, dagegen aber keinen dauernden Vortheil erhält, wenn man umgekehrt einer Kupferplatte gegenüber an beiden Seiten Zinkplatten aufſtellt. Nach Fechner's Verſuchen iſt auch dieſer Gegenſatz nur richtig in Beziehung auf den längern Fortgang des Verſuches, auf die länger dauernde Schließung der Kette, ſo daß im erſten Anfange der Wirkſamkeit die große Kupferplatte der kleinen Zinkplatte zugeordnet nicht mehr wirkt, als die große Zinkplatte der kleinen Kupferplatte zugeordnet, ſpäter aber, wo der Leitungswiderſtand am Kupfer zunimmt, das Zink leichter einen electriſchen Strom unterhält, wenn dieſer den größern Widerſtand überwindend ſich auf viele Kupfertheile ergießen kann, als umgekehrt. Ich ſagte, dieſe Ungleichheit ſey nun erklärt; aber freilich bedarf der Umſtand ſelbſt noch der Erklärung, warum dann die Kupferoberfläche, die doch geringere chemiſche Veränderungen erleidet, ſich hier als ſtärker verändert in ihrer Wirkſamkeit zeigt.

Veränderter Zuſtand der negativen Platten, Ladungsphänomene.

Dieſe Erklärung wird zwar durch die Ladungsphänomene, die man ſchon früh an den Platten der Säule bemerkt hat, auch nicht herbeigeführt; aber

dennoch reihen ſich dieſe Erſcheinungen ſo an die eben betrachteten an, daß ſie wohl hier am beſten ihre Stelle finden. Die Kupferplatten nämlich, obgleich ſie bei längerem Verweilen in der Säule nicht ſo ſehr zerſtört, durch chemiſche Einwirkung nicht ſo ſehr verändert ſind, als die Zinkplatten, ja ſogar Goldplatten, die der ſichtbaren chemiſchen Veränderung ſo ſehr wenig unterworfen ſind, zeigen nach längerem Verweilen in der geſchloſſenen Kette einen merklich veränderten electromotoriſchen Zuſtand. Wiewohl zwei Stücke gleichen Metalles, zwei gleiche Kupferſtücke zum Beiſpiel, zur Hervorbringung eines electriſchen Stromes gar nicht geeignet ſeyn ſollten, ſo erhält man dennoch einen deutlichen electriſchen Strom, wenn man ein Stück Kupfer, das lange nicht in der electriſchen Kette geweſen iſt, mit einem zweiten Stücke Kupfer, das ſo eben aus einer längere Zeit geſchloſſen gebliebenen Kette herausgenommen ward, zu einer einfachen Kette verbindet; hier zeigt ſich das mit Zink zu einer wirkſamen Kette vereinigt geweſene Kupfer als poſitiv-electriſch gegen das gewöhnliche Kupfer.[1] Man hat dieß eine Ladungserſcheinung genannt, obgleich es nicht ſo heißen ſollte, da bloß der electromotoriſche Zuſtand des Kupfers ein andrer, in der Reihenfolge mehr nach der poſitiven Seite hingerückt, geworden iſt.

Schon Ritter bemerkte dieſe Erſcheinung, auf welche ſich die ſecundären Säulen oder die von ihm ſogenannten Ladungsſäulen gründen. Ritter's Entdeckung war folgende. Wenn man (XIV. Fig. 12) eine gewöhnliche Säule ZK aus Kupfer, Zink, feuchtem Leiter aufbaut und auf ſie noch Schichtungen von Kupfer und feuchten Leitern allein K′ K″ (nämlich: Kupfer, feuchter Leiter, Kupfer, feuchter Leiter u. ſ. w.) legt, dann aber die Schließung KLK″ einige Zeit dauern läßt, ſo daß der electriſche Strom durch die an ſich unwirkſame Säule K′ K″ mit hindurch geht, ſo zeigt nun dieſe, wenn man ſie hierauf für ſich allein ſchließt, indem man den Leiter K′ K″ anbringt, die Erſcheinungen einer wirkſamen Säule, deren Wirkungen freilich bald abnehmen und endlich verſchwinden, aber doch deutlich genug ſie als in einen electriſch wirkſamen Stand verſetzt zeigen. Dieſe Wirkſamkeit beruht darauf, daß die Kupferplatten in der Säule K′ K″ an ihren beiden Seiten eine ungleiche electromotoriſche Beſchaffenheit haben, ſo daß dieſe zwei Seiten als ein verbundenes, wirkſames Plattenpaar anzuſehen ſind. Hat eine ſolche ſecundäre Säule ſich lange Zeit in Verbindung mit der wirkſamen Säule ZK befunden, ſo ſchwächt ſie den electriſchen Strom in dieſer; wenn da die Platten K′ K″ an ihrer nach Z zugewandten Seite ſich als mehr poſitiv in Vergleichung gegen die andre Seite zeigen, ſo wirkt der hiedurch angeregte poſitive Strom dem in der Säule ZK wirkſamen Strome entgegen, alſo ſchwächend, und ſo erhellt, wie auch die Kupferplatten in der aus Zink und Kupfer erbauten wirkſamen Säule ZK ſelbſt nach und nach beitragen, den electriſchen Strom aufzuhalten.

[1] Vorzugsweiſe ſind es negative Electromotoren, welche, wenn ſie mit poſitiven zur Kette geſchloſſen ſind, dem poſitiven Ende der galvaniſchen Spannungsreihe näher rücken, was ſogar ſo weit gehen kann, daß ſie mehrere ihnen zunächſt ſtehende Glieder dieſer Reihe überſpringen und ſich zu dieſen als poſitiv erhalten. Eine entgegengeſetzte Veränderung poſitiver Electromotoren findet in viel geringerem Grade ſtatt, ja in vielen Fällen iſt ſie gar nicht nachzuweiſen. (M.)

Das Wogen der Kraft in der Kette.

So führt alſo dieſe Unterſuchung uns wieder zurück zu der allmäligen Abnahme der Wirkung der voltaiſchen Säule und zu der Frage, wovon dieſe abhänge. Wenn man dieſe Veränderungen kennen lernen will, ſo muß man ſich lieber der Trogapparate als der Säulen bedienen, indem in den letztern allzuleicht Nebenumſtände einwirken und auch das allmälige Austrocknen der Platten eine nicht eigentlich in der Natur der Wirkſamkeit der Säule begründete Verſchiedenheit hervorbringt. Bei der Säule kann es ſich, wenn auch nur eine Zwiſchenplatte minder feucht iſt, ereignen, daß dadurch die Wirkſamkeit gehemmt wird; bei ihr erfordert es zuweilen einige Zeit, ehe die Feuchtigkeit die trocken aufgelegten Metallplatten innig berührt u. ſ. w. Aber darin ſtimmen alle Apparate, in welchen nach dem voltaiſchen Principe zwei Metalle durch flüſſige Leiter verbunden ſind, überein, daß ihre zu Anfang ſtarke Wirkung ſich bei fortdauernder Schließung ſehr vermindert. Dieſe Abnahme der Wirkung iſt deſto merklicher, je beſſer durch eine gute Schließungsleitung ohne Unterbrechung die Wirkſamkeit des electriſchen Stromes erhalten wird; ſie iſt geringer, wenn man ſich ſchlechterer Schließungsleiter bedient, ſo wie ſie durch die Aufhebung der Schließung am beſten gehemmt wird. Wenn auch die Platten im Troge der Einwirkung der ſauern oder ſalzigen Flüſſigkeit ausgeſetzt bleiben, aber keine Schließung der Kette ſtatt findet, ſo ſtellt ſich die während der Schließung ſchon herunter gegangene Thätigkeit der Säule wieder her, und es findet alſo wirklich ein Wechſeln der Kraft in der Kette ſtatt. Ohm und Fechner haben dieſe Veränderungen, die man mit dem Namen des Wogens in der Kette belegt hat, näher unterſucht. Dabei iſt nun die Beobachtung des Letztern höchſt merkwürdig, daß, wenn gleich die auf die electromotoriſche Thätigkeit der Platten einwirkende, durch chemiſche Urſachen entſtehende Veränderung ihrer Oberfläche, ſo wie der durch Auflöſung des Metalles veränderte Zuſtand der Flüſſigkeit auf dieſe Wirkungsabnahme Einfluß hat, doch die Hauptwirkung in dem vermehrten Leitungswiderſtande des Ueberganges zu liegen ſcheint, und daß dieſer an den negativen Platten am meiſten zunimmt. Fechner, deſſen mit dem Multiplicator angeſtellte Verſuche geſtatteten, von Minute zu Minute die Kraft der Säule wahrzunehmen, fand, daß eine Bewegung der Zinkplatte in der Flüſſigkeit keine Aenderung in der Kraft der Säule hervorbrachte, wogegen eine Bewegung der Kupferplatte in der Flüſſigkeit oder ein Umrühren der Flüſſigkeit in der Nähe der Kupferplatte oder gar ein Abwiſchen derſelben, während ſie in der Flüſſigkeit blieb, mit dem Barte einer Feder, die ſchon verminderte Wirkſamkeit der Kette wieder erhöhte. Wenn man einen mit Salmiakauflöſung in den Zellen iu Thätigkeit geſetzte Kette ſo lange geſchloſſen gelaſſen hat, daß ſie eine große Abnahme der Wirkung zeigt, ſo ſtellt theils ein Aufheben der Schließung, theils noch weit ſchneller ein Herausheben der Kupferplatten, ſo daß ſie mit der Luft in Berührung kommen, die Wirkſamkeit der Säule her. — Offenbar iſt alſo die

atmoſpäriſche Luft oder vielmehr das Sauerſtoffgas wirkſam zu Unterhaltung der Thätigkeit der Säule; ihr Einwirken auf die negativen Platten, welches noch keineswegs erklärt iſt, macht, daß der vermehrte Widerſtand, welchen der electriſche Strom bei dem Uebergange zu dieſen Platten leidet, ſich wieder vermindert und auch der urſprüngliche electromotoriſche Zuſtand hergeſtellt wird. [1] — Der electriſche Strom ſelbſt bringt jene Aenderung hervor; denn wenn Plattenpaare, theils in der einen, theils in der entgegengeſetzten Richtung verbunden, ihre electriſchen Ströme ſelbſt zerſtören oder unwirkſam machen, ſo zeigen dieſe Plattenpaare, auch bei längerer Dauer ihrer Eintauchung und der Schließung dieſer unwirkſamen Kette, ſich, zu einer wirkſamen Kette verbunden, nicht ſchwächer in ihrer Wirkung. — — Doch alle dieſe, am reichlichſten von Fechner gelieferten, wichtigen Beiträge zu einer künftigen Erklärung dieſer ſich an einander anreihenden Erfahrungen laſſen über den eigentlichen Grund der Erſcheinungen noch viele Dunkelheit übrig, wenn ſich gleich zwiſchen dieſem Wogen in der galvaniſchen Kette, zwiſchen der Ladung der negativen Platten und andern hier angeführten Erſcheinungen ein unverkennbarer Zuſammenhang zeigt.

Einundſiebenzigſte Vorleſung.

Die Erſcheinungen, welche von den chemiſchen Wirkungen der voltaiſchen Säule abhängen, führten mich zu einer ſo langen Reihe von einzelnen Betrachtungen, daß ich den Faden unſerer Unterſuchungen, nämlich die Darſtellung der mannigfaltigen Wirkſamkeit der Säule, faſt ganz verloren zu haben ſcheine. Ich nehme dieſen Faden wieder auf, indem ich zu einer neuen Reihe von Erſcheinungen, den Lichterſcheinungen und Wärmeerzeugungen durch die Säule, übergehe, woran ſich noch manche Unterſuchungen über die Leitung des electriſchen Stromes durch Metalldrähte anknüpfen. Einige vereinzelter daſtehende Erfahrungen mögen zuletzt den Beſchluß dieſer Lehre machen.

Funken aus der voltaiſchen Säule.

Bei den erſten Unterſuchungen über die voltaiſche Säule war es von mehreren Beobachtern als eine ſehr auffallende Abweichung der electriſchen Erſcheinungen der Säule von denen der Reibungselectricität angeſehen worden, daß jene bei ſo ſtarken Einwirkungen auf das Gefühl keine Funken gab. Man fand nun zwar bald, daß die Funken keineswegs ganz fehlten, aber dennoch

[1] Obgleich man den letztern Umſtand gleichfalls berückſichtigen muß, ſo ſcheinen mir doch Fechner's Verſuche deutlich zu zeigen, man dürfe nicht, wie Ohm zu thun geneigt iſt, jenen Widerſtand im Uebergange und ſeine Veränderungen aus den Augen laſſen.

zeigten ſie ſich darin vom gewöhnlichen electriſchen Funken abweichend, daß ſie bei den damals einzig angewandten kleinplattigen Säulen ſich nur mit einiger Schwierigkeit hervorbringen ließen und eine nur ganz unmerkliche Schlagweite hatten. [1] Man bemerkte bald, daß die Pappſchichten zwiſchen den Platten mit einer ſtark geſalzenen Flüſſigkeit, mit Salmiakauflöſung zum Beiſpiel, befeuchtet ſeyn müßten, daß man alſo die Lebhaftigkeit des electriſchen Stromes durch eine den Leitungswiderſtand möglichſt vermindernde Flüſſigkeit befördern müſſe, um Funken zu erhalten. Man bemerkte auch, daß der Funke nur an den feinſten Spitzen leicht hervorgehe, daß er mit einem wirklichen Verbrennen der zur Berührung gebrachten Theile verbunden ſey und eben darum auch ſehr verſchiedene Funken zeige. Auf dieſen Erfahrungen beruht die Vorſchrift, daß man das Ende des Schließungsdrahts mit den feinen Spitzen eines Stückes Blattgold verſehen zur Berührung bringen ſolle, damit der Uebergang durch einen Leiter von ſehr kleinem Querſchnitte geſchehe und zugleich auch das leichte Metallblättchen ſich leicht entzünde. Auch die Beförderung der Funken dadurch, daß man das Ende des Drahtes in der Lichtflamme mit Ruß überzieht oder ein mit Ruß überzogenes Silberſtück zur Hervorlockung der Funken anwendet, beruht eben hierauf, da die feinen Rußtheile ſich leicht, einzelne Funken gebend, entzünden. Am beſten geſchieht dieß in der Lichtflamme ſelbſt, wenn man die an den Drähten angelegten Rußbedeckungen in der Lichtflamme, wo die Erhitzung das Funkengeben erleichtert, einander gegenüber ſtellt. Hier bilden ſich zugleich in den Flammen Dendriten aus Ruß, nämlich in die Länge gedehnte, wachſende Rußfäden, die einander anziehen.

Bei Säulen, wo die Platten nicht über 3 oder 4 Quadratzoll Oberfläche haben, kann man unter 80 bis 100 Plattenpaaren nicht auf das Erſcheinen von Funken rechnen, dagegen reichen 30 Platten von 1 Quadratfuß, mit einer mäßig ſtark geſäuerten oder geſalzenen Flüſſigkeit zu Befeuchtung der Zwiſchenplatten, vollkommen aus, um die herrlichſten Funkenerſcheinungen und Verbrennungen von Metallblättchen hervorzubringen. Läßt man nämlich eine von der unterſten Platte heraufgehende Leitung ſich neben der obern Platte ſo endigen, daß hier ein Gefäßchen mit Queckſilber das Ende des Leiters ausmacht, taucht dann das eine Ende eines ſtarken Drahtes in das Queckſilber und befeſtigt an das andre Ende ein Blatt ächten oder unächten Goldes oder Silbers, um damit die obere Platte zu berühren, ſo verbrennt das Metallblatt mit den ſchönſten Farben. Vor allen zeichnet ſich das ächte Silber durch das ſchönſte Smaragdgrün aus. Die Farbe des Lichts beim Verbrennen richtet ſich nicht allein nach dem verbrennenden Metallblättchen, ſondern es kömmt dabei auch auf das Metall an, mit welchem das Blättchen in Berührung kömmt, indem, wenn die Berührung an einer Queckſilberoberfläche ſtatt findet, dieſe immer ein Hinneigen zu einem bläulichen Lichte hervorzubringen ſcheint. Nach Singer geht ſelbſt das ſchöne Smaragdgrün des brennenden Silbers

[1] In der Regel zeigt ſich nur im Augenblicke der Trennung ein Funke; nur die ſtärkſten Batterien zeigen einen ſolchen auch bei Schließung der Kette. (M.)

bloß dadurch in glänzendes Weiß über, daß man das Silberblatt durch Schließung mit Kohle, welche das Silber berührt, zum Verbrennen bringt, und ähnliche Verſchiedenheiten zeigen ſich oft unter veränderten Umſtänden. Läßt man den Leitungsdraht ſich in eine ſehr feine Stahlſpitze endigen, oder befeſtigt man mit guter Leitung eine Nähnadel daran, deren Spitze die Berührung macht, ſo verbrennt dieſe Spitze unter dem Ausſprühen rother Funken, die aus dem Verbrennen des Eiſens hervorgehen. Unter der Einwirkung ſehr ſtarker Apparate giebt das Verbrennen der Kohle vorzüglich glänzende Erſcheinungen, wie Davy angiebt, und obgleich zur erſten Hervorbringung des Glühens der Kohle eine ſehr große Annäherung erforderlich war, ſo ging doch, unter der Wirkung des von Davy angewandten ſehr ſtarken Apparates, ſpäter, ſelbſt wenn die Kohlenſpitzen 4 Zoll von einander entfernt waren, ein Feuerſtrom zwiſchen ihnen über, der vermuthlich durch losgeriſſene Kohlentheilchen unterhalten wurde.

Der Grund, warum die voltaiſche Säule eine ſo ſehr geringe Schlagweite hat, ſo daß ſelbſt bei 1200 Plattenpaaren die Spitzen, die den Funken bewirken ſollen, bis auf 1/4 oder 1/5 Linie angenähert werden müſſen und bei ſchwächern Säulen faſt gar kein Abſtand kenntlich bleibt, iſt offenbar die geringe Spannung, mit welcher hier die Electricität nach außen wirkt. Eine ſchwach geladene Batterie aus electriſchen Flaſchen, die nur leichte Goldblättchen zu heben und dadurch ihre Ladung darzuthun vermöchte, würde ſchwerlich überhaupt einen Funken geben, weil, wenn ſie auch noch ſo groß wäre, die aus allen Flaſchen ſich vereinigende Electricität vermuthlich viel zu langſam zuſtrömte; wenn alſo die in electroſcopiſcher Hinſicht nicht ſtärker geladene voltaiſche Säule dennoch Funken zeigt, ſo liegt dieß in dem mit ungemeiner Schnelligkeit, wenn gleich mit ſchwacher Spannung, übergehenden Strome der Electricität, und es erhellt leicht, daß eine möglichſte Herabſetzung des Leitungswiderſtandes weſentlich iſt, um dieſen ſchnellen Strom zu unterhalten, weshalb zum Funkengeben der Säule recht ſtark geſalzene oder geſäuerte Flüſſigkeiten vorzüglich brauchbar ſind.

Erhitzung und Glühen der Schließungsdrähte.

Schon dieſe, auch an mäßigen Säulen ſich zeigenden Erſcheinungen des Verbrennens der Metalle beweiſen deutlich, daß eine Erhitzung des Leitungsdrahtes ſtatt findet, und dieſer zeigt ſich bei größern Apparaten durch das Glühen längerer Metalldrähte noch deutlicher. Schon ein Trogapparat von 10 Kupfergefäßen, in welche 10 Zinkplatten von 1 Quadratfuß eingetaucht ſind, bringt Stahldraht von 1/3 Linie dick in 3 bis 4 Zoll Länge zum vollen Glühen, und Drähte von 1 Linie werden bedeutend erhitzt. Mit 200 Plattenpaaren von 64 Quadratzoll brachte Wilkinſon 60 Zoll 1/6 Linie dicken Stahldraht zum Glühen und ſogar zum Verbrennen. Aber noch auffallendere Erfolge haben Children und Hare erhalten. Children brachte 21 Zinkplatten, jede von 32 Quadratfuß, zwiſchen zwei Kupferplatten, und

mit der mächtigen Wirkung dieſes Apparats wurden 5½ Fuß Platindraht, ⅓ Linie dick, in das vollſte Rothglühen verſetzt ein Platinſtäbchen von 2 Linien Dicke und 2¼ Zoll Länge glühete nicht nur, ſondern ſchmolz endlich, die ſehr ſchwer ſchmelzbaren Metalle und Metalloxyde (Tantalumoxyd, Titanoxyd, Molybdänoxyd u. a.) wurden geſchmolzen und zum Theil reducirt. Hare glaubt mit ſeinem Deflagrator die Kohle in einen Zuſtand der Schmelzung verſetzt zu haben und giebt ſogar noch auffallendere Erſcheinungen an, daß nämlich aus der Verflüchtigung der Kohle Körper hervorzugehen ſchienen, die ſich dem Diamant nahe ähnlich zeigten. Mit ſo großen Apparaten gelingt auch das Zerſetzen des Kali's und das damit verbundene Verbrennen des Kaliummetalls am beſten.

Umſtände, die zur Beförderung dieſer Wirkungen beitragen.

Sobald man anfing, dieſe Wärmeerzeugung durch die voltaiſche Säule näher zu unterſuchen, fand man, daß ſie, ſo wie die Schönheit der Funken, die immer mit Verbrennung begleitet ſind, weit mehr von der Größe, als von der Zahl der Plattenpaare abhänge. In welchem Maaße dieß der Fall ſey, darüber ſind, theils wegen der Schwierigkeit, dieſe Verſuche oft zu wiederholen, theils wegen der Schwierigkeit, ſie im ſtrengſten Sinne vergleichbar anzuſtellen, noch nicht genug Beſtimmungen vorhanden. Die Drahtlänge, die man mit verſchiedenen Apparaten zum Glühen bringt, ſcheint ungefähr der Anzahl der Plattenpaare proportional zu ſeyn, aber bei doppelt ſo großen Platten auf das Vierfache, bei dreimal ſo großen Platten auf das Neunfache u. ſ. w. zu wachſen. Aus dieſem Grund fand man es zu dieſen Verſuchen zweckmäßig, nicht bloß ſich großer Platten zu bedienen, ſondern auch die Trogapparate etwas anders als zu den übrigen Verſuchen einzurichten, worauf ich früher, als ich die Trogapparate beſchrieb, deren Zinkplatten an beiden Seiten Kupferplatten gegenüber haben, ſchon hindeutete. Wenn es der Zweck iſt, einen oft wiederholten Wechſel des Ueberganges vom Kupfer zum Zink zu bewirken, ſo muß man (XIV. Fig. 3) jede Zinkplatte Z mit dem folgenden Kupfergefäße K' verbinden; wenn man dagegen nur eine einfache Kette, dieſe aber aus großen Platten beſtehend verlangt, ſo verbindet man (ſo wie Fig. 13 zeigt), alle Zinkplatten Z durch einen Metallſtab A B und bringt auch die Kupfergefäße durch metalliſche Leiter D, D, D in Verbindung. Dieſe letztere Anordnung dient, um den bei A C ausgeſpannten dünnen Draht glühend zu machen; denn durch ihn muß der vom Kupfer zum Zink, von allen Kupfergefäßen zu allen Zinktafeln hinübergehende Strom poſitiver Electricität hindurch gehen, und da eben dieſer Strom an den ſämmtlichen Oberflächen des Zinks und Kupfers durch die die Gefäße füllende Flüſſigkeit einen ſo ſehr freien Uebergang findet, um ſeinen Kreislauf zu vollenden und vom Zink und Kupfer zurückzukehren, ſo iſt die Schnelligkeit des durch C A gehenden Stromes gewiß ungemein groß. Nach dieſem Principe, eine große Anzahl Kupferplatten und ſo auch eine große Anzahl von Zinkplatten in Beziehung auf ihre

Wirkung zu einem einzigen Plattenpaare zu verbinden, iſt Hare's Deflagrator oder Calorimotor (Wärmeerreger) eingerichtet, und wirklich laſſen ſich ſchon mit 10 Zinkplatten von 1 Quadratfuß Größe, denen alſo Kupferplatten oder Kupfergefäße von reichlich 2 Quadratfuß gegenüber ſtehen, ſehr bedeutende Wirkungen hervorbringen.

Man hat zu eben dem Zwecke vorgeſchlagen, eine einzige ſehr große Zinkplatte von einer ebenſo großen Kupferplatte durch dünne Holzſtäbchen zu trennen und dann beide zuſammen zu rollen; dieſe ſpiralförmig gerollte Doppelplatte, die in keinem Punkte eine metalliſche Berührung der beiden Platten darbieten muß, läßt ſich dann in ein großes Cylinderglas tauchen, und wenn man dieß mit geſäuertem Waſſer füllt, oben aber zwiſchen der Zink- und Kupferplatte den zum Glühen oder zum Schmelzen zu bringenden Draht ausſpannt, ſo muß wieder der ganze electriſche Strom, den das eine Metall in jedem Augenblicke, weil es ſeinen beſtimmten Vorzug an poſitiver Electricität fordert, zu ſich hinüber veranlaßt, durch den dünnen Draht gehen.

In allen dieſen einfachen, nur aus einem Plattenpaare beſtehenden Ketten muß aber die Verbindung der durch metalliſche Leitung vereinigten Theile auf das vollkommenſte ſtatt finden. Iſt unter den Leitungsdrähten D (Fig. 13) nur einer, der durch einen leichten Ueberzug von Fett oder einem andern fremden Körper nicht zur wahren, innigen Berührung an beiden Gefäßen gelangt, ſo findet in ihm kein Uebergang der Electricität ſtatt, und die durch ihn anſcheinend mit in die Verbindung gezogenen Gefäße tragen nichts zur Wirkung bei. Man thut daher wohl, entweder alle dieſe Verbindungen durch Anlöthen ganz zuverläſſig zu Stande zu bringen, oder an jedes Kupfergefäß kleine Schälchen anzulöthen, welche, nachdem ſie zu jedem Verſuche mit Queckſilber gefüllt ſind, jene Drähte aufnehmen; wenn eine ſolche metalliſche Verbindung ſtatt findet, ſo hat der unaufhörlich von allen entfernten Gefäßen her ſich zudrängende electriſche Strom Leitung genug, wobei er auch die Drähte oder Stäbchen D, die nicht zu dünn ſeyn dürfen, ſtark erhitzt; aber einen Uebergang durch ſchlechte Leiter, durch einen Ueberzug von Fett oder von Oxyd, macht dieſer, mit ſo ſchwacher Spannung vordringende, Strom nicht, ſelbſt wenn dieſer Ueberzug nur die unmerklichſte Dicke hat. Indem aber ſo ein Strom von ungeheurer Breite, nämlich ſo breit als die ſämmtlichen einander im geſäuerten Waſſer gegenüber ſtehenden Metallflächen, in den höchſt engen Kanal, den der dünne Leitungsdraht darbietet, hinüber geleitet, in dieſem alſo zur ſchnellſten Bewegung genöthiget wird, leidet nun auch dieſer Strom einen großen Widerſtand und dadurch wird gewiß ſeine Stärke vermindert. Dieß iſt ein Umſtand, der nachtheilig für die zu bewirkenden Erſcheinungen iſt; aber in demſelben liegt auch von der andern Seite die Möglichkeit dieſer Wärmeerſcheinungen. Hätten wir irgend einen Körper von einer wirklich unendlich zu nennenden Leitungskraft, ſo würde ſelbſt der ſchnellſte Strom der Electricität mit vollkommener Leichtigkeit, ohne irgend einen Widerſtand, durch ihn hindurchgehen und, ſo viel wir überſehen, dann uns gar

keine Zeichen des Durchgangs durch Wärmeerzeugung darbieten; aber indem ein Widerſtand ſtatt findet, entſteht dieſe fühlbare Wärme. Obgleich alſo von der einen Seite der Strom durch den Widerſtand geſchwächt wird, ſo wird doch ſeine ſichtbare Wirkung, vorausgeſetzt daß dieſer Widerſtand nicht zu groß iſt, eben durch ihn vermehrt. Dieß iſt der Grund, warum bei gleicher Dicke des Leitungsdrahtes dieſer ſehr oft glühend wird, wenn es ein Platindraht iſt, und nicht glühend, wenn es ein Silberdraht iſt. Ein Experiment, wo ein aus gleich dicken Stücken zuſammengeſetzter Silberdraht und Platindraht die Leitung bildet, ſo nämlich, daß der electriſche Strom aus dem Platindrahte zum Silber und aus dieſem wieder zum Platin übergeht, zeigt dieß recht deutlich, indem hier, bei richtig gewählter Dicke des Drahtes, die Platinſtücke glühen, während die Silberſtücke nicht zum Glühen kommen.

Die Leitungsfähigkeit der Körper nimmt ab durch die Erhitzung. Davy hat dieß durch mehrere Verſuche gezeigt. Waren zwei Schließungsdrähte angebracht, deren einer, im Waſſer unterbrochen, eine Waſſerzerſetzung bewirkte, der andre aber, ein 1/19 Linie dicker Platindraht, ohne Unterbrechung fortging; ſo ward die Säule, zu deren Schließung beide Drähte dienten, durch den letzten vollkommen entladen, wenn er, in kaltem Oele fortgehend, ſich nicht erhitzen konnte; dagegen wenn er ſich erhitzte oder wenn er erwärmt wurde, fing der Waſſerzerſetzungsapparat an, Luft zu entwickeln, zum Zeichen, daß jener Draht nicht mehr Leitung genug gewährte. Ein noch auffallenderer Verſuch iſt folgender. Wenn ein nicht zu kurzer Platindraht als Schließung des voltaiſchen Kreiſes ſich fortwährend rothglühend erhält, ſo erhitzt man einen Theil dieſes Drahtes durch eine Weingeiſtflamme bis zum Weißglühen und ſieht dann den übrigen Theil ſeine Rothglühhitze verlieren; dagegen, wenn man einen Theil des rothglühenden Drahtes durch Eis abkühlt, ſo gelangt der übrige Theil durch den electriſchen Strom zum Weißglühen. In dem einen Falle nämlich erſchwert die Erhitzung des Drahtes mit der Weingeiſtflamme den Zutritt des electriſchen Stromes und dieſer, mit verminderter Gewalt durch den übrigen Theil des Drahtes gehend, unterhält nicht mehr die Rothglühhitze; im andern Falle iſt die Strecke des Drahtes, in welcher die Leitung gehindert wird, verkürzt, der geſammte electriſche Strom iſt alſo verſtärkt und bringt den unabgekühlten Theil zum Weißglühen.

Vergleichung des Leitungswiderſtandes in metalliſchen Schließungsdrähten.

Wenn man die neulich ſchon erwähnten Mittel anwendet, um die Stärke des electriſchen Stromes in der geſchloſſenen Säule zu beſtimmen, ſo kann man, ſobald in der Säule ſelbſt alle Umſtände gleich bleiben, die Aenderung der Stärke des Stromes, ſo fern ſie von dem Schließungsdrahte abhängt, unterſuchen. Die Stärke des Stromes iſt, bei gleich bleibender electromotoriſcher Thätigkeit der Säule, den ſämmtlichen Leitungswiderſtänden umgekehrt proportional, und wenn man für den Widerſtand im Schließungsdrahte

vorausſetzt, daß er der Länge des überall gleich dicken Drahtes proportional ſey, ſo geben zwei Verſuche mit ungleichen Längen ſolcher Drähte, die ſonſt gleich ſind, an, welcher Antheil den ſämmtlichen übrigen Widerſtänden und welcher dem Schließungsdrahte beizulegen ſey. Zahlreiche Verſuche von Ohm und Fechner beſtätigen, daß man ſo den Widerſtand beider Theile richtig beſtimmt.[1] Dieſe Verſuche zeigen ferner, daß Drähte von gleicher Materie und gleich lang nur halb ſo viel Widerſtand geben, wenn ihr Querſchnitt doppelt ſo groß iſt, nur ein Drittel des Widerſtandes, wenn ihr Querſchnitt dreimal ſo groß iſt, daß es dabei auf die Größe der Oberfläche nicht ankömmt, alſo die Electricität ſich hier nicht, wie im Ruhezuſtand in geladenen Körpern, auf die Oberfläche begiebt, ſondern auch im Innern des Leitungsdrahtes fortgeht. Es iſt leicht zu überſehen, daß man durch ſolche Verſuche auch die Ungleichheit des Leitungswiderſtandes verſchiedener Körper findet; denn wenn man fände, daß ein Schließungsdraht von Zink bei beſtimmter Länge und Dicke genau ebenſo viel Widerſtand leiſtete, als der geſammte Widerſtand in der Säule ſelbſt beträgt, daß dagegen ein gleicher Kupferdraht nur ein Drittel des Widerſtandes leiſtete, der in der Säule ſtatt findet, ſo hätte man das Verhältniß 1 zu 3 als Verhältniß der Leitungsfähigkeit für Zink und Kupfer.

Becquerel hat noch ein andres Mittel angewandt, um die Leitung der Schließungsdrähte zu vergleichen, indem er die Wirkung des electriſchen Stromes durch einen kürzern, ſchlechter leitenden Draht nach einer Richtung und durch einen längern, beſſer leitenden Draht nach der entgegengeſetzten Richtung fortgeleitet compenſirte; doch darauf werde ich an einer andern Stelle zurückkommen müſſen.

Läßt man den electriſchen Strom durch mehrere Schließungsdrähte zugleich gehen, ſo theilt er ſich genau dem Leitungsvermögen gemäß. Die Mittel nämlich, welche die Stärke des electriſchen Stromes angeben, zeigen, daß er ſich unter zwei gleichartige Drähte, deren einer aber viermal ſo lang iſt, ſo theilt, daß dieſer einen Theil und der kürzere vier Theile bekömmt. Ebenſo verhält es ſich bei ungleich dicken Drähten oder bei Drähten von ungleicher Materie, daß nämlich immer der zehnmal ſo gut leitende Draht auch zehnmal ſo viel electriſche Materie fortführt, als der mit ihm zugleich angewandte ſchlechter leitende Draht.

Unipolare Leiter.

Eine auffallende Beobachtung Erman's hat lange die Phyſiker in einige Verlegenheit wegen der Erklärung geſetzt. Wir ſind nämlich durch ſo viele

[1] Ein Beiſpiel wird dieß erläutern. Bei einem Verſuche Fechner's nahm die Kraft des Stromes von 1000 auf 453 ab, wenn der Leitungsdraht auf das eilffache verlängert wurde, und von 1000 auf 266, wenn der Leitungsdraht 23½mal verlängert wurde. Die Rechnung zeigt, daß der Leitungswiderſtand in der Säule ziemlich nahe 7mal ſo groß, als in der einmaligen oder anfänglichen Länge des Leitungsdrahtes war. Alſo war im erſten Falle der Widerſtand 7 + 1, im zweiten Falle 7 + 11, im dritten 7 + 23½; die Zahlen 18 : 8 verhalten ſich, wie 1000 zu 444 (ſtatt 453), die Zahlen 30½ : 8 aber, wie 1000 zu 262 (ſtatt 266), alſo beinahe völlig den Verſuchen gemäß.

Erfahrungen geleitet zu der Ueberzeugung gelangt, daß ein Zu- und Ableiten der electriſchen Materien nicht wohl ſo ſtatt finden könne, daß die eine beſſer oder minder gut als die andre fortgeleitet werde, ſondern beide ſcheinen hierin ganz gleichen Geſetzen zu folgen; jene Beobachtung Erman's aber ſcheint Ausnahmen von dieſer Regel anzugeben. Erman ſtellte eine voltaiſche Säule iſolirt auf, und verſuchte, ob auch die Weingeiſtflamme ſich als Leiter der Electricität zeige. Sie wiſſen, daß die iſolirt aufgeſtellte Säule, wenn ſie an beiden Enden mit Electrometern verſehen iſt, uns am Zinkende eine gegenſeitige Abſtoßung der Goldblättchen durch poſitive Electricität, am Kupferende durch negative Electricität zeigt, und es iſt offenbar, daß eines dieſer Electrometer auf Null herabgehen mußte, wenn die Flamme, als Leiter der Electricität, einen Theil der am einen Pole angebrachten Ableitung ausmachte. Wirklich erfolgte dieß, wenn man den vom einen Pole ausgehenden Leitungsdraht ſich in der Flamme endigen und einen zweiten von einem andern Punkte der Flamme bis zur Erde gehen ließ; und was damit immer verbunden iſt, daß das am andern Pole der Säule angebrachte Electrometer nun auf die doppelte Spannung ſteigt, trat auch hier ein. So zeigte ſich alſo die Weingeiſtflamme als ein Leiter an jedem einzelnen Pole der Säule; aber wenn man die Flamme iſolirt aufgeſtellt als Verbindung der Enden beider an Schließungsdrähte brachte, wenn ſowohl der vom Zinkpole als der vom Kupferpole kommende Draht ſich in der iſolirten Flamme endigte und die Flamme hier als Leiter dienen ſollte, ſo ſank am poſitiven Pole das Electrometer auf Null, am negativen kam es dagegen zu der doppelten Divergenz, ſo als ob dieſer iſolirt wäre. Die Flamme zeigte ſich alſo als unipolarer poſitiver Leiter, aber als die negative Seite nicht entladend. Gleiche Wirkung zeigten alle unſre gewöhnlichen Flammen, welche auf Entbindung von Kohlenſtoffgas und Waſſerſtoffgas beruhen, wogegen die Flamme des Schwefels gar nicht und die Flamme des Phosphors als die negative Electricität unipolar leitend erſchien. Ebenſo iſt auch die Seife eine die negative Electricität unipolar leitende Subſtanz.

Zu dieſen Verſuchen Erman's hat kürzlich Ohm einige neue hinzugefügt, die eine Aufklärung des Räthſelhaften in jenen zu gewähren ſcheinen. Ohm fand nämlich, daß auch die concentrirte Schwefelſäure negativ unipolar leite, daß dieß aber nur dann vollkommen deutlich ſtatt finde, wenn der vom poſitiven Pole kommende Draht aus Meſſing oder Zink beſteht, wogegen ein Gold- oder Platindraht am poſitiven Pole die unipolare Wirkung aufhebt. (Einige andre Metalle geben nicht ſo entſchiedene Erfolge.) Den Grund von dieſer Unipolarität fand Ohm darin, daß ſich am Zink und Meſſing in der Schwefelſäure ein harter Ueberzug am poſitiven Drahte bildet, der ſehr ſchnell die Leitung an dieſer Seite aufhebt, und ähnlichen Umſtänden ſchreibt er auch die bei der Seife und bei den Flammen beobachteten Erſcheinungen zu, wodurch, wenn ſich dieſe Meinung beſtätigt findet, das Räthſelhafte größtentheils wegfiele.

Brande hat dieſe unipolaren Erſcheinungen mit den früher[1] erwähnten

[1] Am Ende der 69. Vorleſung.

Beobachtungen an Flammen in Verbindung geſetzt, und allerdings ſchließt ſich der von Erman beobachtete Gegenſatz der Wirkungen der Alkoholflamme und der Phosphorflamme an jene an; aber eine Erklärung, wie Brande ſie verſucht, ſcheint ſich daraus nicht herleiten zu laſſen.

Electrochemiſche Bewegungen in leitenden Flüſſigkeiten.

Ich muß zum Schluſſe der Unterſuchungen über die galvaniſchen Erſcheinungen hier noch ein von Erman ſchon bemerktes, von Herſchel, Nobili, Pfaff, Schweigger und Andern weiter unterſuchtes Phänomen erwähnen, das noch nicht erklärt iſt und bei der Ungewißheit, die über die eigentliche Natur deſſelben ſtatt findet, hier ſeinen Platz finden mag.

Wenn man die von den beiden Polen einer nicht zu ſchwachen voltaiſchen Säule ausgehenden Drähte, die hier ſich am liebſten in Platindrähte endigen müſſen, mit Queckſilber, über welchem ſich eine alcaliſche Auflöſung befindet, in Verbindung ſetzt, ſo entſtehen auffallende Bewegungen, die verſchieden ſind, je nachdem der eine oder der andere Draht bis in das Queckſilber reicht oder beide ſich in der darüber ſtehenden Flüſſigkeit endigen. Ich begnüge mich, von dieſen Erſcheinungen, die ungleich ſind für eine über dem Queckſilber ſtehende alcaliſche und eine ſaure Flüſſigkeit, nur einige zu erzählen.

Man thut reines Queckſilber in ein flaches Glasgefäß, ein Uhrglas zum Beiſpiel, und gießt auf daſſelbe eine Auflöſung von ätzendem Kali; man läßt dann den vom poſitiven Pole kommenden Draht ſich in der Flüſſigkeit, etwas entfernt vom Queckſilber, endigen, den negativen Draht dagegen in das Queckſilber eintauchen, ſo nimmt das Queckſilber ſtatt ſeiner convexen Geſtalt eine mehr abgeplattete an, und in der Flüſſigkeit entſteht ein Strom, deſſen Richtung in Fig. 15 (Taf. XIV.) die Pfeile angeben. Stehen nämlich der poſitive Draht A und der negative B ſich ungefähr im Durchmeſſer des Glaſes gegenüber, ſo geht von A nach B ein grader Ström, der ſich gegen B zu theilt und Wirbel nach beiden Seiten hin hervorbringt, ſo daß die Bewegung ſo fortdauert, wie die Figur angiebt, und die Drehung beider Wirbel ſehr lebhaft iſt. Stehen A, B ſich nicht im Durchmeſſer gegenüber, ſo zieht der eine Wirbel ſich zuſammen oder verſchwindet auch ganz, indem der urſprüngliche Strom immer faſt gerade vom poſitiven zum negativen Drahte hinüber geht. Hat man die Drähte eine Zeit lang in der angegebenen Eintauchung gelaſſen und zieht nun den negativen Draht aus dem Queckſilber heraus bis in die Flüſſigkeit zurück, ſo dauert der Strom noch eine geraume Zeit fort, und zwar nach Herſchel's genauer Unterſuchung ſo lange, bis das bei der vorigen Schließung reducirte und mit dem Queckſilber amalgamirte Kaliummetall ſich wieder oxydirt und in Alcali verwandelt hat.

Hat man den negativen Draht in das Queckſilber eingetaucht und den poſitiven Draht nicht weit vom Rande des Gefäßes grade zur Berührung mit dem Queckſilber gebracht, ſo zieht dieſes ſich zurück, um ſeine gewöhnliche convexe Geſtalt anzunehmen, und da es dann nicht mehr in Berührung mit dem

poſitiven Drahte bleibt, ſo entſteht das Beſtreben, wieder zur abgeflachten Form zurückzukehren, dadurch aber eine neue Berührung und ein wechſelndes Ausdehnen und Zuſammenziehen.

Daß bei der Schließung, wo nur der negative Draht bis in das Queckſilber reicht, das Queckſilber ganz unoxydirt bleibt, verſteht ſich von ſelbſt, weil dann die ganze Queckſilbermaſſe den negativen Pol darſtellt, von welchem das Oxygen fortgetrieben wird. Auch daß aus der Kalilauge ſich Kaliummetall reduciren und mit dem Queckſilber amalgamiren kann, iſt nicht unerwartet, da bei entſtehender Zerſetzung des Kali's offenbar das reine Metall dem negativen Pole zu geht. Aber worauf dieſe Strömungen beruhen, erhellt daraus nicht.

Läßt man gleich zu Anfang den poſitiven Draht in das Queckſilber eintauchen und den negativen ſich in der Flüſſigkeit endigen, ſo wird, wenn das Queckſilber ſich unter einer Kali-Auflöſung befindet, die Oberfläche des Queckſilbers ſogleich gelb und ſehr bald dunkelbraun; ſobald man aber den poſitiven Draht aus dem Queckſilber bis in die Flüſſigkeit hervorzieht und dagegen den negativen Draht in das Queckſilber eintaucht, ſo verſchwindet bei einer ſtark wirkenden Säule ſehr ſchnell dieſe Haut und das Queckſilber nimmt ſeinen Spiegelglanz wieder an, und auch dabei ändert ſich die convexe Form des Queckſilbers im Augenblicke des Verſchwindens des Oxydes.

Nobili bemerkt, daß, wenn beide Drähte ſich oberhalb des Queckſilbers in der Flüſſigkeit endigen, ſich den Drähten gegenüber Bewegungen zeigen, die eben ſolche Figuren darſtellen, wie man ſie farbig hervorgebracht auf den feſten Metallplatten ſieht, wenn man ihnen gegenüber durch feine Drähte die Schließung bewirkt. Dieſe Bewegungen habe ich nicht deutlich wahrnehmen können; dagegen ſcheint zuweilen, wenn der negative Draht ſich oberhalb des Queckſilbers befindet, unter dieſem ein mit verſchiedenen Farben ſchillernder Ring in der auf dem Queckſilber entſtehenden Haut hervorzugehen.

Die Erſcheinungen, die in andern Fällen hervorgehen, will ich hier nicht anführen, da die in ihnen ſtatt findende Mannigfaltigkeit noch nicht zu einer weitern Erklärung geführt hat. Auch in dem eben beſchriebenen Experimente treten zuweilen neben den regelmäßigen Bewegungen noch andre ein, die von der zufälligen Lage der Drähte gegen die Ränder des Queckſilbers abhängen.

Zweiundſiebzigſte Vorleſung.

Zu den Erſcheinungen, welche der electriſche Strom der galvaniſchen Kette darbietet, gehört noch eine, die vielleicht an Merkwürdigkeit alle andern übertrifft, die Einwirkung des electriſchen Stromes auf die Magnetnadel; aber von dieſer kann ich nicht eher umſtändlich reden, bis ich Sie mit den Eigenſchaften des Magnets und mit den mannigfaltigen Erſcheinungen, welche der Magnet ſelbſt und der Magnetismus der Erde uns darbieten, bekannt gemacht habe.

Anziehende Kraft des Magnets.

Ich muß mit den bekannteſten Erſcheinungen, die ſchon ſeit Jahrtauſenden bekannt ſind, anfangen, nämlich daß es einige Eiſenerze giebt, welche die beſondre Eigenſchaft beſitzen, Eiſen bei der Berührung mit einer gewiſſen Gewalt feſtzuhalten und kleine Eiſentheile (Eiſenfeilſpäne) auch aus der Ferne an ſich zu ziehen. Dieſes ſind die natürlichen Magnete oder Magnetſteine. Ihre Wirkung geht nicht bloß durch die Luft bis in einige Ferne, ſondern ſie wird auch durch Glas, Holz und Metalle nicht aufgehalten, nur wenn man eine Eiſenplatte zwiſchen den Magnet und die anzuziehenden Eiſentheile bringt, zeigen ſich die Wirkungen verändert und geſchwächt. Die Stärke dieſer Kraft iſt bei den natürlichen Magneten ſehr ungleich. Es giebt kleine Magnete, die dadurch, daß ſie ein Gewicht tragen, welches gegen ihr eignes ſehr groß iſt, merkwürdig ſind [1], und unter den größern üben manche eine ſehr große Gewalt, ſelbſt bis auf bedeutende Entfernungen, bis zu 2 Fuß Entfernung merklich, aus.

Das Eiſen iſt aber nicht das einzige Metall, auf welches der Magnet anziehend wirkt, ſondern auch das reine Nickel iſt dieſer Wirkung auf ganz ähnliche Weiſe unterworfen. Mit dem reinen Kobalt ſind bisher nur wenige Verſuche angeſtellt worden, die aber zeigen, daß auch dieſes Metall zu den für magnetiſche Kraft empfindlichen Metallen zu rechnen iſt, und daſſelbe gilt unter den einfachen Körpern noch vom Chrom und Mangan (Braunſtein); Ritter behauptet eben dieß vom Magneſium und Uranium, und bemerkt dabei, daß alle dieſe Metalle ſehr ſchwer ſchmelzbar und darin einander einigermaßen ähnlich ſind. Das Eiſen behält ſelbſt in den Eiſenſalzen und in den meiſten Miſchungen mit andern Metallen ſeine Eigenſchaft, vom Magnete angezogen zu werden; ein Meſſingdraht, der nur ſehr wenig Eiſen enthält, zeigt, an einem Seidenfaden aufgehängt, daß er der Anziehung des Magnetes folgt. Dagegen bemerkt ſchon van Swinden, daß ſehr wenig Antimonium dem Eiſen beigemiſcht dieſem ſeine Anziehbarkeit raube, und daſſelbe behauptet Ritter vom Arſenik; Seebeck's Verſuche über die Verbindungen von Antimon und Eiſen beſtätigen dieß, und zugleich zeigt Seebeck, daß ebenſo das Kupfer in der Verbindung mit Nickel dieſem ſeine Anziehbarkeit raube, weshalb auch das Argentan, obgleich es ſo viel Nickel enthält, nicht erheblich vom Magnet gezogen wird.

Noch auffallender aber als dieſes iſt Le Baillif's und Becquerel's Erfahrung, daß Wismuth und Antimon vom Magnete abgeſtoßen werden, — eine Erfahrung, die auch Brugmanns ſchon an dem dunkeln und faſt violett gefärbten Wismuth machte, während er an andern Wismutharten eine Anziehung bemerkte.

Richtung des Magnets nach den Weltgegenden.

Wenn man den Magnetſtein in Eiſenfeilſpäne legt, ſo bedeckt er ſich damit nicht gleichförmig, ſondern es ſind gewöhnlich zwei einander gegenüber-

[1] Newton ſoll einen 3 Gran ſchweren Magnet gehabt haben, der 746 Gran trug.

liegende Seiten, die ſich am ſtärkſten damit belegen. Hängt man den Magnet frei beweglich ſo auf, daß dieſe Seiten in horizontaler Richtung einander gegenüber ſtehen, ſo findet man, daß er eine beſtimmte Stellung annimmt, ſo daß jene Seiten ſich ungefähr nach Norden und Süden wenden. Der Magnet hat alſo einen Nordpol und einen Südpol. — Dieſe Eigenſchaft des Magnetes iſt erſt ſpät bemerkt worden und, wie man glaubt, den Chineſen früher als den Europäern bekannt geweſen; in Europa iſt ſie erſt im dreizehnten Jahrhundert bekannt geworden, und Flavio Gioja aus Amalfi im Königreich Neapel um das Jahr 1300 wird immer als derjenige genannt, der den Compaß oder die Anwendung des Magnets zur Beſtimmung der Weltgegenden erfunden habe; doch ſchreibt Gilbert dem Marco Polo das Verdienſt zu, die Richtung des Magnets nach Norden, auf die er im Orient aufmerkſam gemacht worden war, den Europäern bekannt gemacht zu haben. Bei den unvollkommenen Mitteln, die Himmelsgegenden durch einen auf einem Bretchen befeſtigten und ſo auf Waſſer ſchwimmenden Magnet zu beſtimmen, will ich nicht verweilen, ſondern ſogleich auf diejenigen Mittel übergehen, die uns zu viel bequemerer Anwendung des Magnetes dienen.

Mittheilung der magnetiſchen Kräfte an Eiſen und Stahl.

Schon wenn man den natürlichen Magnet in Eiſenfeilſpäne legt, macht man die Bemerkung, daß er ſich mit denſelben nicht ſo überzieht, wie etwa ein naſſer Körper mit Sandkörnern, wenn man ihn mit Sand beſtreut; die feinen Eiſentheile legen ſich nicht jedes einzeln an, ſondern als ob ſie kleine Nadeln bildeten, reihen ſich mehrere, vom Magnete abwärts, an einander, ſo daß die Eiſentheilchen ſelbſt wieder einander anzuziehen ſcheinen. Noch auffallender wird dieß, wenn man Eiſendrähtchen oder auch ſtählerne Nadeln nimmt; obgleich dieſe für ſich allein keine Kraft, einander anzuziehen, beſitzen, ſo hängt ſich doch, wenn die erſte vom Magnete getragen wird, an dieſe gern die zweite und an die zweite auch wohl noch die dritte. Der Verſuch läßt ſich aber noch weiter fortſetzen, indem unter der Einwirkung eines hinreichend ſtarken Magnetes ein Stab von weichem Eiſen oder ungehärtetem Stahle, wenn er auch einen Fuß lang oder noch länger iſt, an ſeinem einen Ende Eiſenfeile anzieht, wenn ſein anderes an einem hinreichend ſtarken Magnete anliegt. Das Eiſen erlangt alſo, ſo lange es unter der nahen Einwirkung des Magnetes iſt, ſelbſt magnetiſche Kraft; aber das weiche Eiſen verliert ſie ſogleich wieder, wenn man es vom Magnete entfernt, und eben das gilt vom weichen Stahle; der gehärtete Stahl dagegen bleibt in einigem Grade magnetiſch und die Nähnadel, die am Magnete hängend eine andere anzog, behält dieſe anziehende Kraft in einigem Grade auch in der Folge. Bei einem recht ſtarken Magnete geht jene Wirkung noch weiter, indem ſelbſt ohne Berührung, ja in 6 bis 10 Zoll Entfernung, ein unmagnetiſches Eiſen, ein größerer Schlüſſel zum Beiſpiel, ganz erhebliche Stücke Eiſen zu tragen im Stande iſt, aber auch dieſe Kraft behält das Eiſen nur in der Nähe, unter dem Einfluſſe des Magnets.

Wir wollen dieſe merkwürdige Erfahrung ſogleich dazu benutzen, künſtliche Magnete zu verfertigen. Die Nähnadel, die eine Weile von einem ſtarken Magnete angezogen an ihm hing, iſt ein kleiner Magnet geworden, ſie fährt fort, Eiſenfeile anzuziehen, und was noch merkwürdiger iſt, wenn man ſie an einem feinen Seidenfaden im Schwerpunkte aufhängt, ſo zeigt ſie nach Norden, auch ſie hat ihren Nordpol und Südpol erhalten. Natürlich fragen wir, welches Ende der Nadel iſt denn Nordpol geworden? — und jeder Verſuch beantwortet uns dieſe Frage ganz entſchieden dahin, daß der am Nordpole des Magnets hängende Theil der Nadel ein Südpol wird, hingegen der am Südpole hängende ein Nordpol, daß alſo die Nadel in ihrem berührenden Theile denjenigen Pol erhält, welcher dem berührten Magnetpole entgegengeſetzt iſt, daß dagegen der entferntere Theil der Nadel dem Magnetpole, wo ſich die Nadel befindet, gleichnamig iſt. Den Reichthum von Lehrſätzen, zu denen dieſe wenigen Erfahrungen den Weg bahnen, müſſen wir nach und nach weiter kennen zu lernen ſuchen.

Die Erfahrung, daß weicher Stahl nur unter der dauernden Einwirkung des Magnetes ſich magnetiſch zeigt, nachher aber alle Kraft wieder verliert, nöthigt uns, zu Verfertigung künſtlicher Magnete uns des gehärteten Stahles zu bedienen. Ueber den Grad und die Art der Härtung ſind die Künſtler nicht ganz einig; Horner giebt für Magnetnadeln die Vorſchrift, als am meiſten bewährt, daß die Stahlnadel vollkommen gehärtet und bis zur ſtrohgelben Farbe angelaſſen oder beſſer noch aus der Weißglühehitze in ſiedendem Leinöl abgelöſcht werde. So harter Stahl nimmt aber nicht ſo leicht durch bloße Berührung den Magnetismus an, ſondern das Beſtreichen hat ſich hier als erfolgreicher gezeigt und die Kunſt dieſes Beſtreichens iſt auf mehr als eine Weiſe vollkommener gemacht worden.

Anziehung der ungleichnamigen, Abſtoßung der gleichnamigen Pole.

Aber ehe ich dazu übergehe, muß ich Sie noch mit einer andern merkwürdigen Eigenſchaft des Magnets bekannt machen. Wir ſind dahin gelangt, aus jeder dünnen Stahlnadel einen Magnet zu machen, und haben geſehen, daß dieſe Nadel mit ihrem Südpole feſt an dem Nordpole des Magnets hing; laſſen Sie uns jetzt eine dieſer magnetiſchen Nadeln horizontal aufhängen und den Nordpol einer zweiten dem Südpole der erſten nähern, ſo ſehen wir eine ſtarke gegenſeitige Anziehung, dagegen wenn wir den Nordpol der zweiten dem Nordpole der erſten nähern, ſehen wir dieſe mit bedeutender Kraft einander abſtoßen. Ich ſtelle den Verſuch mit zwei Nadeln, die beide ungefähr gleich ſtark magnetiſirt ſind, an, weil, wenn Sie den Südpol einer kleinen Stahlnadel dem Südpol eines ſehr ſtarken Magnetes nähern, jener nicht bloß angezogen, ſondern, wie die nachherige Unterſuchung beim Aufhängen zeigt, zugleich in einen Nordpol verwandelt wird.

Dieſe Erfahrungen erinnern ſo ſehr an die Ihnen bekannten electriſchen Erſcheinungen, daß ich nicht unterlaſſen kann, die Uebereinſtimmung etwas

näher nachzuweiſen. Wenn wir ſtatt des Magnets einen geladenen electriſchen Körper SN nehmen und ihm einen iſolirten Leiter AB (XIV. Fig. 16) gegenüber ſtellen, ſo hat A die entgegengeſetzte, B die gleichnamige Electricität zu der, welche ſich in N findet, und gerade ſo iſt hier A ein Südpol, B ein Nordpol, wenn N ein Nordpol war. Dort zogen ſich die entgegengeſetzt electriſirten Körper an, wie hier der Nordpol den Südpol anzieht; dort ſtießen ſich die gleichartig electriſirten Körper ab, wie hier der Südpol den Südpol und der Nordpol den Nordpol. Die Analogie geht noch weiter, wenn wir das weiche Eiſen oder den weichen Stahl mit den electriſchen Leitern und dagegen den harten Stahl mit den Nichtleitern vergleichen. Wenn NS ein Nichtleiter für die Electricität iſt, ſo findet, während ein andrer Körper AB ihm gegenüber geſtellt wird, in ſeiner eignen Electricität keine merkliche Veränderung ſtatt; in AB aber, wenn AB ein guter Leiter iſt, findet ſich, ſogleich im Augenblicke der ohne Berührung eintretenden Einwirkung, in B die zu N gleichnamige, in A die entgegengeſetzte Electricität, und ſo verhält es ſich hier mit dem Magnetismus im weichen Eiſen; dagegen wenn AB ein Nichtleiter iſt, ſo wird nur erſt nach langer Einwirkung, durch Anziehung und Abſtoßung der von N aus wirkenden poſitiven Electricität, die negative Electricität in A geſammelt, die poſitive nach B hin gedrängt, und ebenſo tritt im harten Stahle die magnetiſche Wirkung langſam ein. Aber gerade ſo, wie der Leiter AB nach Entfernung des electriſirten Körpers wieder unelectriſch iſt, ſo iſt das weiche Eiſen nach der Entfernung des Magnets unmagnetiſch, und ſo wie der Nichtleiter AB, wenn er einmal durch lange und kräftige Einwirkung des electriſirten Körpers in A negativ, in B poſitiv geworden wäre, nun lange Zeit ſeine electriſchen Eigenſchaften behalten würde, ſo thut es der gehärtete Stahl, wenn er einmal magnetiſch geworden iſt. Ja es ereignet ſich wohl in dem Nichtleiter AB, daß die poſitive Electricität, nur nach a zurückgedrängt, dort eine Zone poſitiver Electricität bildet, und ſo wechſelnde Zonen beider Electricitäten auf einander folgen; und ebenſo ereignet es ſich in längeren Stahlnadeln AB, daß ſich, wie man es nennt, Folgepunkte bilden, nämlich ein Wechſeln mehrerer magnetiſcher Pole, ſo daß A Südpol, a Nordpol iſt, weiterhin ſich ein neuer Südpol findet, u. ſ. w.

Ich werde auf dieſe Vergleichung des Magnetismus mit der durch Vertheilung hervortretenden Electricität noch öfter zurückkommen müſſen, ſo wie die einzelnen Erſcheinungen dazu Veranlaſſung geben; hier aber muß ich ſogleich auch eine ſehr auffallende Verſchiedenheit in der Wirkungsart des Magnetismus und der Electricität bemerklich machen, nämlich die, daß der Magnetismus nichts darbietet, was ſich mit der Mittheilung der Electricität vergleichen ließe. Schon die durch Jahre langen Zeitverlauf im harten Stahle ſich nicht ausgleichende Trennung des nordpolariſchen und ſüdpolariſchen Zuſtandes an den entgegengeſetzten Enden des Magnetes iſt offenbar dem nicht entſprechend, was ein Nichtleiter der Electricität darbieten würde, indem es, auch abgeſehen von dem Verluſte in der Luft, unmöglich ſcheint, daß ein Siegellackſtab in SI

verbunden mit dem Glasſtabe I N (XIV. Fig. 17) für immer negativ bleiben ſollte, während I N poſitiv=electriſch wäre, ſondern vielmehr als ganz gewiß erſcheint, daß in langer Zeit die Electricität den Leitungswiderſtand überwinden und eine Ausgleichung der poſitiven und negativen Ladung hervorbringen würde. Und ſo wie hier kein Uebergang der beiden Magnetismen, wenn ich dieſen Ausdruck gebrauchen darf, von einem Pole zum andern ſtatt findet, ebenſo findet auch, ſelbſt bei der genaueſten Berührung, keine Mittheilung des nordpolariſchen Zuſtandes (Fig. 16) von N an A B, keine Mittheilung, die der electriſchen Ladung durch Uebergang zu vergleichen wäre, ſtatt, ſondern bei der engſten Berührung bleiben es immer nur Wirkungen, die der durch Vertheilung entſtandenen Electricität entſprechen, welche wir in dem Stabe AB wahrnehmen.

Dieſe Einwirkung des Magnetes, welche wir der Vertheilungselectricität entſprechend finden, iſt jedoch nicht bloß in der Berührung, ſondern ſchon in einiger Entfernung deutlich zu bemerken. Wenn man einen ſtarken, in die Form eines Hufeiſens S N (Fig. 18) gebogenen Magnet ſo legt, daß der eine Pol oberhalb des andern liegt, und nun ein weiches Eiſen, einen großen Schlüſſel zum Beiſpiel, vertical über dieſem Pole hält, ſo trägt der Schlüſſel ziemlich bedeutende Stücke Eiſen. Iſt nämlich S ein Südpol, ſo wird ſowohl des größern Eiſens s n als des kleinern t m unterer Theil nordpolariſch, t und n hängen daher als entgegengeſetzte Pole an einander. Hält man dagegen zwei oben an demſelben Faden hängende Eiſendrähtchen a b, c d (Fig. 19) über dem Pole des Magnetes, ſo ſtoßen ſich die unteren Enden ſtark ab, weil b, d gleichnamige Pole ſind.

Künſtliche Magnete. Verfertigung derſelben.

Dieſe Bemerkungen mußte ich der Verfertigung künſtlicher Magnete vorausſchicken, um die Mittel, wodurch wir Nordpole und Südpole auch dann unterſcheiden, wenn ſie nicht am Ende des Stabes liegen, als bekannt vorausſetzen zu können. Die Verfertigung künſtlicher Magnete wäre nun freilich ſchon durch das einfache Mittel der Berührung an einem ſtarken Magnete möglich, ja ein ſehr ſtarker Magnet könnte ſelbſt ſchon aus einiger Ferne einen kürzern Stahlſtab in den magnetiſchen Zuſtand verſetzen, wenn dieſer mit ſeinem einen Ende gegen einen Pol des Magnets gekehrt wäre; aber dieſe Methode würde an ſich ſchwierig und Zeit raubend ſeyn, überdieß aber ſehr leicht, zumal bei etwas längern Stäben, das Entſtehen von Folgepunkten, von mehrern Abwechſelungen der Pole, deren einige in der mittlern Gegend des Stabes lägen, zur Folge haben. Man hat daher ſchon lange auf andere Methoden gedacht, unter denen das einfache Beſtreichen (der einfache Strich) die älteſte iſt. Die Erfahrung zeigt nämlich, daß die Erſchütterung auf eine uns nicht weiter erklärliche Weiſe den Stahl leichter disponirt, magnetiſch zu werden, und daß man einen Magnet erhält, wenn man mit einem Pole eines ſtarken Magnetes über die ganze Länge des Stahlſtabes, berührend und einigen Druck

ausübend, hinſtreicht. Iſt N (XIV. Fig. 20) der Nordpol des Magnetes, führt man dieſen von A nach B fort und hebt ihn erſt ab, wenn er über das Ende B hinaus kömmt, ſo iſt B ein Südpol; um aber den neuen Magnet zu verſtärken, bringt man den Nordpol, entfernt von AB, wieder nach A, ſtreicht abermals nach B zu, entfernt ihn wieder, und macht ſo viele Beſtreichungen als man für nöthig hält. Es ſcheint, als ob hier entgegengeſetzte Wirkungen entſtehen und ſich beinahe aufheben müßten; aber die Erfahrung zeigt, daß dieſes doch nicht der Fall iſt. Bliebe nämlich der Nordpol N immer in A, ſo würde A ein Südpol und B ein Nordpol; ſo wie N fortrückt, iſt die Entſtehung eines Südpols immer da am meiſten begünſtigt, wo N gerade berührt, und wenn N lange Zeit in a verweilte, ſo könnte es ſich gar wohl ereignen, daß a ein Südpol würde, während A und B beide Nordpole gäben[1]; aber wenn der Strich nach B fortgeht, ſo iſt B ein Südpol und zeigt ſich bei der Unterſuchung als ſolcher, während A zum Nordpole geworden iſt. Fängt man zum zweiten Male bei A wieder den Strich an, ſo ſcheint es, man zerſtöre die vorige Wirkung; aber wenn man nur N nicht zu lange in A verweilen läßt und die Operation immer nicht eher endigt, bis der Strich in B angekommen iſt, ſo ſchadet dieſes nichts. Wenn wir uns vorſtellen, daß die kleinſten Theile des Magnetes oder die Theilchen der in ihnen enthaltenen magnetiſchen Materie eine Aenderung der Lage annehmen, ſo ſcheint es, daß dieſe durch die Erſchütterung des Beſtreichens in jedem Augenblicke diejenige Aenderung der Lage erhalten, die der Stellung des Magnetes gemäß iſt, ja daß ſie durch das nahe Vorübergehen des Magnetes an ihnen vollkommener zu der Aenderung der Lage veranlaßt werden, als wenn der Magnet bloß aus der Ferne, am einen Ende berührend, auf ſie gewirkt hätte. Indeß wenn auch dieſe Vorſtellung von der Aenderung der Lage jedes feinen Theilchens bloß eine hypothetiſche iſt, ſo iſt wenigſtens der Erfolg gewiß, daß bei jedem mit dem Nordpole N vollendeten Striche von A nach B der Nordpol bei A, der Südpol bei B ſich verſtärkt hat. Folgepunkte können auch hier entſtehen, und man würde ſie ſogar abſichtlich hervorrufen können, wenn man an einem beſtimmten Punkte a mit dem Nordpole verweilte and über die benachbarten Punkte ohne ſcharfe Berührung wegeilte, um die in a entſtandene Südpolarität nicht wieder zu zerſtören.

Als Verbeſſerungen dieſer Methode ſind nach und nach folgende bekannt geworden. Knight, der ſich ſchon im Beſitz ſehr ſtarker Magnetſtäbe befand, legte (XIV. Fig. 21) zwei Magnetſtäbe mit ihren ungleichnamigen Polen aneinander, ſo daß N, der Nordpol des einen, den Südpol s des andern faſt berührte; auf ſie oder darunter ward der zu magnetiſirende Stahl AB ſo gelegt, daß jene beiden Pole in ſeiner Mitte lagen. Schon durch die Berührung ward nun die Hälfte B einigermaßen in den nordpolariſchen, die Hälfte A in den ſüdpolariſchen Zuſtand verſetzt, und wenn man nun mit einem etwas

[1] Man könnte dieß bemerken, wenn man den Südpol einer kleinen Nadel an a brächte und dieſen abgeſtoßen ſähe.

ſtärkern Andrücken beide Magnete gegen die Enden A, B aus einander zog, ſo ward B ein ſtarker Nordpol, A ein ſtarker Südpol. Offenbar fand hier jene entgegengeſetzte Wirkung nicht ſtatt, die bei der vorigen Methode den ſchon hervorgebrachten Nordpol in einen Südpol verwandeln zu müſſen ſchien, ſondern es mußte, je weiter s gegen B, N gegen A rückte, deſto mehr der nordpolariſche Zuſtand oder die nordpolariſche Stellung der Theilchen in jener und die ſüdpolariſche in dieſer Hälfte verſtärkt werden.

Duhamel brachte bei dieſem Verfahren eine doppelte Veränderung an, indem er erſtlich (XIV. Fig. 22) an die Enden des zu magnetiſirenden Stahlſtabes AB Stäbchen von weichem Eiſen AC, BD anlegte, die durch einen zweiten Stahlſtab CD verbunden wurden, und zweitens den auf die Mitte aufgeſetzten und gegen die Enden fortgeführten Magneten NS, sn eine geneigte Stellung gab. Der Vortheil, welchen die Stäbchen von weichem Eiſen gewähren, iſt ſehr einleuchtend; denn wenn durch den erſten Strich, den s nach B und N gleichzeitig nach A gemacht hat, in B auch nur ein ſchwacher Nordpol, in A ein ſchwacher Südpol entſtanden iſt, ſo erhalten die weichen Eiſenſtäbe BD, AC ſogleich auch Polarität und der in B erregte nordpolariſche Zuſtand wird durch den an B anliegenden Südpol des weichen Eiſens BD feſter gehalten. Es iſt dieß gerade ſo, wie die Wirkung eines durch Vertheilung electriſch gewordenen Leiters BD, deſſen in B frei gewordene negative Electricität ſtark beiträgt, die in AB bei B erregte poſitive Electricität hier zu binden und ſo ſehr als möglich auf dieſen Punkt zu concentriren. Mag nun alſo auch der bei dem zweiten Striche nach dem Abheben bei B in der Mitte wieder aufgeſetzte Südpol in einigem Grade der in B entſtandenen Nordpolarität entgegen wirken, ſo ſchadet dieß, weil ſie bei B gebunden gehalten wird, weniger, und der zweite und jeder folgende Strich erhöhet deſto ſicherer den magnetiſchen Zuſtand. Das zugleich erfolgende Aufſetzen beider Pole in der Mitte bewirkt, daß die dem eigentlichen Zwecke entgegengeſetzte Wirkung viel minder nachtheilig wird, indem der Nordpol N in der Mitte aufgeſetzt aus A und B Nordpole, der Südpol s in der Mitte aufgeſetzt aus A und B Südpole zu machen ſtrebt. Aber auch die geneigte Stellung, die Kater ſo verlangt, daß der Winkel der Magnete mit dem Stahlſtabe bedeutend unter 30 Graden ſey, hilft dieſes mit bewirken; denn indem s und n beim Anfange des Striches ziemlich gleich weit von B entfernt ſind, bringen ſie gemeinſchaftlich faſt gar keine Wirkung auf B hervor, und B iſt daher unter dem Einfluſſe des Nordpols N eher geneigt nordpolariſch zu werden, weil n und s faſt nichts bewirken.

Jene Bindung des ſchon entſtandenen Magnetismus hat Aepinus noch verſtärkt, indem er nicht weiches Eiſen, ſondern ſtarke Magnete an beide Enden des zu magnetiſirenden Stahls anbrachte. Wird B (XIV. Fig. 23) von einem Südpole berührt, ſo erhält und verſtärkt dieſer den durch das Beſtreichen in B erweckten Nordpol. Aepinus führte zugleich den Doppelſtrich ein, der darin beſteht, daß man die beiden in einer mäßigen Entfernung von einander

ſtehenden Pole n und s′ in derſelben Entfernung von einander zuerſt beide von der Mitte gegen das eine Ende, ſodann, ohne abzuheben, gegen das andere Ende und ſo hin und her führt, endlich aber beide zugleich in der Mitte abhebt. Durch dieſes Verfahren entſteht bei B ein Nordpol, weil dieſe Hälfte mehr unter der Einwirkung des Südpols s′, dagegen die andere mehr unter der Einwirkung des Nordpols n bleibt. Dieſe Methode ſcheint indeß weniger Vorzüge als die vorige zu beſitzen.

Noch eine Methode der Magnetiſirung iſt der Strich in die Runde (Kreisſtrich), wo man zwei Stahlſtäbe AB, CD (Fig. 22) zugleich magnetiſirt. Beide ſind durch weiche Eiſenſtücke AC, BD verbunden und die in immer gleichem Abſtande erhaltenen beiden Pole N, s werden von A nach B, D, C, A, B und ſo weiter fortgeführt; führt man zuletzt den Nordpol N bis über B hinaus und endigt hier, ſo iſt B ein Südpol, A ein Nordpol, an CD aber iſt C ein Südpol, D ein Nordpol, weil wieder die letzte Wirkung die Entſcheidung giebt.

Coulomb hat dieſe Methoden alle genau unterſucht und die von Duhamel und Aepinus am zweckmäßigſten gefunden. Statt einzelner ſtarker Magnete nahm er aber eine Verbindung mehrerer, deren Nordpole mit weichem Eiſen verbunden den Südpol des zu verfertigenden Magnets berührten, und ebenſo ward eine Verbindung von ſtarken Magneten mit dem Südpole an dem hervorzubringenden Nordpole angebracht. Auch zum Beſtreichen dienten mehrere verbundene Magnete. Durch dieſes Mittel kann man ſelbſt mit Hülfe ſchwächerer Magnete ſtarke Magnete hervorbringen; denn wenn man eine Anzahl gut gehärteter Stahlſtäbe nach einander ſo weit magnetiſirt, als es mit Hülfe eines ſchwachen Magnetes möglich iſt, ſo erhält man dadurch, daß man einen derſelben der Wirkung der übrigen, die theils an den Enden berühren, theils zum Beſtreichen angewandt werden, ausſetzt, einen ſtärkern Magnet, und kann ſo die Magnetiſirung bis zu der Stärke, die man als völlige Sättigung anſieht, treiben. Es erhellt hieraus, daß der Magnetismus nicht durch Uebergang oder Mittheilung an den neuen Magnet ertheilt wird, ſondern es verhält ſich ſo, wie es in einem faſt gar nicht leitenden Körper mit der Electricität ſein würde. In dem zwiſchen ſtark electriſirten Körpern liegenden Körper würden nämlich durch Vertheilung die beiden Electricitäten immer mehr hervortreten, aber hierdurch würde auch in jenen Körpern nicht nur keine Schwächung, ſondern vielmehr eine Stärkung der entgegengeſetzten Electricitäten ſtatt finden.

Aus dieſen Ueberlegungen wird es auch klar, warum man an natürlichen Magneten Armirungen anbringt und warum dieſe aus weichem Eiſen ſind. Dieſe (XIV. Fig. 24) an die Pole des Magnetes angelegten Eiſenplatten AB, CD, welche ſich in die Füße B, D endigen, haben nicht allein den Zweck, bequemere Punkte zum Anhängen der Gewichte, die der Magnet tragen ſoll, darzubieten, ſondern ſie tragen auch bei, die magnetiſche Kraft in dieſen Punkten zu vereinigen und den Magnet zu ſtärken, indem ſie die Trennung

der beiden Magnetiſmen dadurch, daß die am Magnete anliegenden Eiſentheile die entgegengeſetzten Pole erhalten, befördern. War AB die nordpolariſche Seite des Magnets, ſo iſt das Ende B der Armirung gleichfalls ein Nordpol. Da dieſe Einwirkung durch weiches Eiſen am vollkommenſten hervortritt, ſo wählt man daſſelbe zur Armirung.

Auch der ſogenannte Anker, d. h. das Eiſen, das man anhängt, um es mit den Gewichten zu belaſten, die der Magnet tragen ſoll, muß weiches Eiſen ſeyn, damit es ſich ſogleich beim Anhängen in den polariſchen Zuſtand verſetze, der am meiſten geeignet iſt, die magnetiſchen Kräfte in den Polen des Magnetes ſelbſt hervorzurufen. Offenbar liegt in dieſem vollkommneren Hervorrufen der magnetiſchen Kräfte durch ein beide Pole vollkommen gut berührendes Eiſen und in dem beſſeren Anziehen der Endflächen des Magnetes auch der Vorzug der Hufeiſenform, die man dem Magnete mit ſo großem Vortheil giebt. Auch der Umſtand, daß der Magnet an Kraft gewinnt, wenn man das weiche Eiſen EF immer mit ihm in Verbindung läßt, iſt nun erklärlich. Nicht genügend erklärt iſt dagegen der Umſtand, daß ein Magnet bedeutend an Kraft verliert, wenn durch ein zu großes Gewicht der Anker abgeriſſen wird, und nur allmälig durch vorſichtiges Vermehren der angehängten Gewichte zu ſeiner früheren Stärke zurückkehrt.

Durch Verbindung mehrerer ſchwächerer Magnete, die man mit ihren gleichnamigen Polen an einander legt, erhält man einen ſtärkeren Magnet. Eine ſolche Verbindung einzelner Magnete nennt man eine magnetiſche Batterie oder ein magnetiſches Magazin. Werden gerade Stäbe zu einem Bündel verbunden, ſo giebt man ihnen eine Armirung von der vorhin beſchriebenen Form; das größte Magazin dieſer Art iſt das von Knight conſtruirte, das aus 450 Stäben von 15 Zoll Länge beſteht. Ein Hufeiſenmagnet beſteht in der Regel aus mehreren hufeiſenförmig gebogenen Stahlplatten (Lamellen), die unmittelbar auf einander gelegt ſind und durch zwei Schrauben zuſammengehalten werden; gewöhnlich ſind die Platten in ungerader Anzahl vorhanden und die mittelſte iſt am längſten und dickſten (ſ. X. Fig. 9). Gute Hufeiſenmagnete tragen oft das 10—20fache ihres Gewichts, gerade Magnetſtäbe aber ſelten mehr als ihr eigenes Gewicht.

Magnetnadeln. Beſtimmung der magnetiſchen Kraft, welche ſie erlangt haben. Bouſſole oder Compaß.

Unter den künſtlichen Magneten verdienen die Magnetnadeln, ihrer großen Nützlichkeit wegen, beſonders angeführt zu werden. Ihre Beſtimmung beruht bekanntlich darauf, daß ſie, in der Mitte unterſtützt, ſich horizontal drehen und in die Richtung, wozu die magnetiſche Kraft ſie antreibt, ſtellen können. Man giebt ihnen durch Beſtreichen die magnetiſche Kraft und kann bei ihnen durch die Zeit der Oſcillationen die Stärke der erlangten Kraft beſtimmen. Da man bei ihnen leichte Beweglichkeit und vollkommen genaue, immer gleiche Rückkehr in die Stellung, welche den magnetiſchen Kräften gemäß iſt, verlangt,

ſo verdienen die Umſtände, wodurch dieſe Zwecke erreicht werden, noch eine nähere Betrachtung.

Daß die Spitze, auf welcher die mit einer Höhlung oder mit einem Hütchen verſehene Nadel ruht, möglichſt ſcharf und möglichſt hart, um nicht abgenutzt zu werden, ſeyn muß, verſteht ſich von ſelbſt. Man hebt, um dieſe Abnutzung zu vermeiden, gern die Nadel von der Spitze ab, wenn ſie außer Gebrauch iſt, und dieſe Abhebung muß ſo eingerichtet ſeyn, daß die Nadel bei dem Wiederauflegen im genau richtigen Punkte unterſtützt wird und ohne Stoß dieſe richtige Lage wieder erhält. Um die Leichtigkeit der Bewegung zu befördern, würde es vortheilhaft ſcheinen, die Nadel recht leicht zu nehmen, damit die Reibung deſto geringer ſey; aber dieſem Vortheile ſteht der große Nachtheil, daß eine ſehr leichte Nadel eine allzu geringe magnetiſche Kraft annimmt, entgegen. Coulomb hat über die angemeſſenen Verhältniſſe der Nadel viele Verſuche angeſtellt, und giebt eine Breite von 1 Linie gegen 3 Zoll Länge als zweckmäßig an; eine erhebliche Dicke giebt man der Nadel nicht, weil eine doppelt ſo dicke Nadel nicht zweimal ſo viel magnetiſche Kraft erlangt, als eine von einfacher Dicke. Dagegen hat man vorgeſchlagen, zwei Nadeln, einige Linien von einander entfernt, in genau gleicher Richtung zu verbinden, damit ihre vereinigte Richtungskraft mit deſto mehr Gewalt die Nadel zu der richtigen Stellung zurückführe. Etwas entfernt von einander müſſen ſie ſeyn, da ſonſt die einander nahen gleichnamigen Pole eine gegenſeitige Schwächung der Kraft hervorbringen, aus eben den Gründen, welche die Stärkung der Kraft in der Nähe eines entgegengeſetzten Poles (des Nordpoles in der Nähe des Südpoles eines andern Magnets) bewirkten.

Die Stärke der Richtungskraft einer Magnetnadel läßt ſich aus der Zeit ihrer Oſcillationen, wenn ſie entfernt von Eiſen und Magneten aufgeſtellt iſt, beurtheilen. Woher auch die Kraft entſtehe, welche die Nadel zu ihrer beſtimmten Richtung zurückführt, ſo befolgen doch gewiß die Oſcillationen eben die Geſetze, wie die des Pendels; denn die wirkende Kraft iſt offenbar eine mit der Richtung, welche die Nadel annehmen muß, parallel wirkende, und alle Erfolge ſind daher denen vergleichbar, die Sie früher bei dem Pendel kennen gelernt haben. Auch hier gilt es, und ein leichter Verſuch dient dafür zum Beweiſe, daß die Oſcillationen der Nadel gleichzeitig ſind, die Nadel mag um einen Grad oder um zehn Grade von ihrer Richtung abweichen. Auch hier gilt es, daß die Zeit einer Oſcillation auf die Hälfte herabgeht, wenn die die Richtung der Nadel bewirkende Kraft zu dem Vierfachen wächſt; denn je mächtiger die Kraft wirkt, deſto ſchneller zieht ſie die Nadel zu ihrer richtigen Stellung zurück, deſto kürzer iſt die Oſcillationszeit, jedoch nicht im einfachen umgekehrten Verhältniſſe, ſondern der eben angegebenen Regel gemäß. Wie die Zeit der Oſcillationen von der Länge und dem Gewichte der Nadel abhängt, will ich hier übergehen und dagegen nur bei den Erfahrungen, welche die ungleiche Kraft einer und derſelben Nadel betreffen, noch verweilen.

Es iſt offenbar, daß eine ſchwach magnetiſirte Nadel, die vielleicht nur

durch einen einzigen Strich eines Magnets aus dem völlig unmagnetiſchen Zuſtande herausgetreten iſt, nur ſehr langſame Oſcillationen machen wird, weil ſie nur mit geringer Kraft in die beſtimmte Richtung gezogen wird; erhält ſie durch fortgeſetztes Beſtreichen eine vermehrte Kraft, ſo werden ihre Oſcillationen ſchneller, aber nach und nach erreicht dieſes eine Grenze, und man ſagt dann, die Nadel ſey geſättigt, weil ſie, wie es ſcheint, unfähig iſt, nun noch einen ſtärkern Grad von Magnetismus anzunehmen. Iſt die Nadel von ſehr gut gehärtetem Stahle, ſo behält ſie die einmal erlangte Kraft faſt ganz unveränderlich, minder harter Stahl aber verliert nach und nach ſeine Kraft, vorzüglich wenn er ſich in der Nähe andrer Magnete ſo befindet, daß ſie ſeine Kraft vermindern, oder wenn er ſich in unrichtiger Lage gegen die Erde befindet.[1]

Die verſchiedenen Aufſtellungen der Nadel, um ſie bequem zu gebrauchen, muß ich doch noch erwähnen. Will man die Magnetnadel in ganz ruhiger Stellung mit möglichſt großer Genauigkeit beobachten, ſo iſt es vortheilhaft, ihr eine ſolche Form zu geben, daß eine auf ihrer obern Fläche gezogene feine Linie die eigentliche genaue magnetiſche Richtung anzeige. Die Nadel muß dann mit ſehr großer Sorgfalt magnetiſirt ſeyn, damit beim Beſtreichen die eigentliche magnetiſche Axe der Nadel nicht durch eine ſchiefe Richtung des Streichens von dieſer Linie abweiche. Befindet ſich dann die Nadel in einem eingetheilten Kreiſe aufgeſtellt, deſſen Mittelpunkt mit ihrem Drehungspunkte zuſammentrifft, ſo kann man vermittelſt eines Microſcops den Theilungspunkt des Kreiſes genau ableſen, auf dem jene Linie einſpielt. In dieſem Falle muß der getheilte Kreis durch aſtronomiſche Mittel genau geſtellt ſeyn, damit man die Lage der Nadel gegen den aſtronomiſchen Meridian mit aller Strenge beſtimme.

Der Compaß, wie der Schiffer ihn gebraucht, hat faſt immer die Einrichtung, daß auf die Nadel der in ſeine 32 Windſtriche oder auch in noch kleinere Theile getheilte Kreis aufgeklebt iſt, wobei ſich dann die Stelle, die dem Nordpunkte entſpricht, durch eine beſtimmte Bezeichnung kenntlich macht. Damit der Compaß bei den Schwankungen des Schiffes immer horizontal bleibe, hat das Käſtchen LM, worin er ſich befindet, eine doppelte Aufhängung. Es iſt nämlich zuerſt (XIV. Fig. 25) mit der Axe AB in einen Ring eingehängt und um dieſe Axe beweglich; der Ring ſelbſt aber dreht ſich um die Axe CD, welche auf jene ſenkrecht iſt, und iſt dadurch in dem größern Kaſten befeſtigt. Hierdurch wird bewirkt, daß bei einer Hebung oder Senkung von C in Vergleichung gegen D eine Drehung um AB eintritt, bei einer Hebung des Punktes A eine Drehung um CD, und bei einer Hebung oder Senkung in einer gegen AB und CD ſchiefen Richtung eine Drehung um beide Axen.

Für die Zwecke des Feldmeſſers eignet ſich ſehr gut die Schmalkalder'ſche Bouſſole (XIV. Fig. 26), welche den Vortheil gewährt, die

[1] Man kann Magnetnadeln auch aus Nickel verfertigen, ja nach Lampadius ſogar aus einer Legirung von Platin oder Gold und Nickel. Vor den ſtählernen haben ſolche Nadeln den Vorzug, daß ſie weniger leicht roſten. (M.)

Theilungen des Kreiſes zugleich mit dem Gegenſtande, nach welchem man viſirt, beobachten zu können. Beim Feldmeſſen nämlich iſt es der Zweck des Gebrauches der Bouſſole, zu wiſſen, welchen Winkel irgend eine Linie, nach welcher man viſirt, mit dem Meridiane macht, und dieſer Zweck könnte erreicht werden, wenn man die horizontal aufgeſtellte Bouſſole ſo richtete, daß das Viſirlineal AB, in deſſen Richtung der Nullpunkt des eingetheilten Kreiſes liegen müßte, auf den beſtimmten Gegenſtand zielte, und dann nachſähe, welchen Winkel die Magnetnadel zeigte; aber folgende Einrichtung erleichtert die Beobachtung. Die Magnetnadel iſt unter einem auf ſie befeſtigten eingetheilten Kreiſe angebracht, und dieſer Kreis kann da, wo das Norden der Magnetnadel liegt, ſeinen Nullpunkt haben. Vor der Diopter B, an welcher das Auge ſich befindet, iſt ein unter 45 Gr. geneigter Spiegel, an dieſe Diopter befeſtigt, angebracht, damit das Auge, horizontal über A nach dem Gegenſtande blickend, auch die Zahlen des eingetheilten Kreiſes im Spiegel grade vor ſich ſehe. Während nun das Viſirlineal auf die bekannte Weiſe gegen den abzuviſirenden Punkt gerichtet und ſo feſtgeſtellt iſt, giebt man, ohne die Stellung des Auges zu ändern, Achtung, vor welchem Grade des im Spiegel geſehenen Kreiſes die über den Spiegel weg geſehene Viſirlinie einſpielt, und hat ſo die verlangte Richtung.

Unterſuchungen über die magnetiſche Kraft der einzelnen Theile des Magnets.

Da die Nordpolarität am einen Ende des Magnets, die Südpolarität am andern Ende hervortritt, ſo läßt ſich leicht erwarten, daß der Magnet in der Mitte neutral iſt. Dieſes iſt auch wirklich ſo der Fall, daß in der Mitte keine magnetiſche Kraft merklich iſt. Wenn man etwas längere Stahlnadeln magnetiſirt, ſo ſind ſie nur gegen die Enden zu im Stande, Eiſenfeilſpäne zu tragen, und belegen ſich in der Mitte nicht damit. Wenn man zwei magnetiſirte Nadeln ſo an einander legt, daß der Nordpol der einen den Südpol der andern berührt, ſo bilden ſie nur einen Magnet, der am Verbindungspunkte keine erhebliche Kraft hat, Eiſen anzuziehen, und dieß offenbar deswegen, weil hier Nordpol und Südpol zugleich wirken, alſo die dem Magnete zugewandte Seite des Eiſenſtäbchens weder die eine noch die andre Polarität erlangt.

Dieſe ungleiche Stärke des Magnetismus oder die ungleiche Vertheilung der magnetiſchen Kräfte am Ende und gegen die Mitte des magnetiſirten Stabes kann man mit Coulomb's Drehwaage auf folgende Weiſe genauer unterſuchen. Es ſey (XIV. Fig. 27) AB eine an dem Faden LM der Drehwaage horizontal aufgehängte Magnetnadel, A ihr Nordpol; man laſſe dieſe in ihrer natürlichen Stellung ſo zur Ruhe kommen, daß der Faden ungedreht iſt, und bringe nun in ſenkrechter Richtung gegen ſie den Magnet SN an, deſſen Nordpol den Nordpol jener Nadel berührt. Da die gleichnamigen Pole ſich abſtoßen, ſo nimmt der Draht LM eine Drehung an und man muß durch Zurückdrehen die Nadel AB zwingen, ſich dennoch an N anzulegen; die Größe

dieſer Zurückdrehung, welche nämlich erforderlich iſt, um die Abſtoßung zu hindern, giebt das Maaß der abſtoßenden Kraft der beiden auf einander wirkenden Pole. Stellt man nun den Verſuch zuerſt am äußerſten Ende des Magnets, dann immer weiter gegen die Mitte zu an, ſo findet man, daß die Kraft in einer geringen Entfernung vom Ende am ſtärkſten iſt, dann aber gegen die Mitte ſehr ſchnell abnimmt. Durch dieſes Mittel erhält man zwar nicht im ſtrengſten Sinne die Kraft jedes einzelnen Punktes, ſondern die vereinigte Kraft auch der benachbarten Punkte, indeß läßt ſich doch das Geſetz der Austheilung der magnetiſchen Kräfte gar wohl aus dieſen Verſuchen herleiten, zumal da die Einwirkung der nur etwas bedeutend weiter entfernten Punkte ſchon bald gering wird. Ein zweites Mittel, um dieſe Kenntniß der Kräfte der einzelnen Punkte zu erhalten, beſteht darin, daß man kleine Magnetnadeln in der Nähe der einzelnen Punkte eines größern Magnetes oſcilliren läßt und aus der Schnelligkeit der Oſcillationen die Kraft der Anziehung beſtimmt.

Bei dieſer Unterſuchung findet man, daß die ſtärkſten Punkte oder die eigentlichen Pole nicht ganz am äußerſten Ende des Magnetes liegen, und auf dieſen Umſtand muß man bei manchen Unterſuchungen Rückſicht nehmen. Chriſtie ſtellte zu einem andern Zwecke den Verſuch an, daß er einen magnetiſirten Stab, in welchem dieſe Pole gleich entfernt von beiden Enden lagen, dadurch ſchwächte, daß er mit dem Nordpole eines ſtarken Magnets ein- oder zweimal gegen den Nordpol zu ſtrich; dann rückte der wahre Nordpol des ſo verſchlechterten Magnets gegen die Mitte zu, der Südpol aber näherte ſich mehr dem andern Ende; bei zwei oder mehr ſolchen Strichen ging der Nordpol ſtark gegen die Mitte zu und es entſtand ein zweiter Südpol an dem vorher nordpolariſchen Ende, ſo daß man hier deutlich die nach und nach erfolgende Umkehrung der Pole kennen lernte.

Abnahme der magnetiſchen Kraft in der Ferne.

Wenn man ſo die Stärke jedes einzelnen Punktes eines Magnetes kennt, ſo kann man auch die Abhängigkeit der abſtoßenden Kraft gleichnamiger Pole von dem Abſtande beſtimmen. Statt nämlich (Fig. 27) den verticalen Magnet SN ganz nahe an die andre Nadel zu bringen, ſtellt man ihn neben dem Endpunkte der Nadel, aber in einiger Entfernung, auf, zwingt durch Drehung des Fadens die Nadel in die beſtimmte Entfernung zurück, und lernt ſo die Kraft kennen. Wenn man dieß für ungleiche Abſtände von der Nadel thut und dabei auch auf die Einwirkung der benachbarten Punkte durch gehörig geführte Rechnung Rückſicht nimmt, ſo findet man, daß die Wirkung der magnetiſchen Kraft auf ein Viertel herabgeht, wenn die Entfernung ſich verdoppelt, auf ein Neuntel, wenn die Entfernung ſich verdreifacht, u. ſ. w. Mit Hülfe dieſes Geſetzes und der vorhin angegebenen Beſtimmung der ungleichen Austheilung des Magnetismus in jedem Magnete iſt es möglich, die Lage, welche eine Magnetnadel in der Nähe eines Magnets erhalten muß, zu

beſtimmen, indem man die Abſtoßung der gleichnamigen Hälften und ebenſo die Anziehung der ungleichnamigen Hälften von Punkt zu Punkt berechnet und die Summen zu Beſtimmung der Gleichgewichtslage anwendet. Auf ähnliche Art kann man auch die geſammte Kraft der Einwirkung auf eine Nadel und folglich die Schnelligkeit der Oſcillationen, welche ſie unter dieſer Einwirkung machen muß, beſtimmen und mit Verſuchen vergleichen.

Andre Verſuche, die das Magnetiſiren und die Anziehung und Abſtoßung der Pole betreffen.

Bei der Magnetiſirung durch den einfachen, von einem Ende bis zum andern gehenden, Strich bietet ſich ein Gedanke dar, den Brugmanns und van Swinden weiter verfolgt haben. Wenn man (XIV. Fig. 28) in A mit dem Nordpole zu beſtreichen anfängt, ſo iſt A im erſten Augenblicke gewiß ſüdpolariſch, aber am Ende des Striches, wenn N in B angekommen iſt, findet ſich A nordpolariſch; es muß alſo, während N fortrückt, einen Punkt a geben, wo N ankommt, während A keines von beiden iſt. Brugmanns fand, daß dieſer Punkt, der in Beziehung auf A der Indifferenzpunkt heißen müßte, bei dickeren Stäben entfernter vom Ende A iſt, als bei dünnern Stäben, daß ſich aber noch ein zweiter Indifferenzpunkt b in Beziehung auf B findet, der näher gegen B zu liegt und die Eigenſchaft hat, daß B weder Nordpol noch Südpol iſt, wenn man von A bis b ſtreicht und hier den Magnet abhebt. Van Swinden hat noch eine neue Bemerkung hinzugefügt, daß nämlich, wenn man in A mit dem Nordpole zu beſtreichen anfängt, B nordpolariſch iſt, daß dieſer Nordpol B verſtärkt wird, wenn man etwas näher von A gegen B fortrückt, daß es aber einen Punkt c giebt, wo man, um die nordpolariſche Kraft in B am ſtärkſten hervorzurufen, den Magnet abheben muß, indem bei dem Fortrücken bis b das Ende B ſeinen polariſchen Zuſtand wieder verliert. Jenen Punkt c nennt van Swinden den Culminationspunkt, den Punkt der größten Stärke. Dieſe Erfahrungen ſind bemerkenswerth, da indeß die Lage aller dieſer drei Punkte von der Dicke und Härtung des Stabes abhängt, ſo iſt ihre Kenntniß von keiner weitern Wichtigkeit.

Die unter dem Einfluſſe eines Magnetes entſtehende Magnetiſirung des Stahles und — zu dieſem Zwecke noch beſſer — des weichen Eiſens bietet noch mehrere, zuerſt unerwartet ſcheinende, aber ſich doch leicht erklärende Erſcheinungen dar, die man, nach Brugmanns' Anleitung, leicht darſtellen kann. Man ſtellt eine Magnetnadel AB (XIV. Fig. 29) auf, deren natürliche Richtung AB darſtellt, nähert ihrem Nordpole A den Nordpol N eines Magnetes NS und wartet, bis die Nadel, die nun etwas am Nordende abgeſtoßen wird, in einer andern Lage ab zur Ruhe kommt; hierauf legt man ein weiches Eiſen CD ungefähr in die in der Figur angegebene Stellung und ſo, daß D ſich nicht zu verrücken braucht, wenn C mit N zur Berührung gebracht wird; nachdem man jetzt die Nadel ihre ruhige Lage hat erlangen laſſen, bringt man C zur Berührung des Poles N, und nun vergrößert ſich

die Abſtoßung des Nordpoles bedeutend, beinahe ſo als wenn der Nordpol des Magnetes nach D gerückt wäre. Der Grund iſt einleuchtend, es wird nämlich D zu einem Nordpole, der, wenn er auch nicht ſo ſtark als N ſelbſt iſt, doch ſeiner Nähe wegen ſtark abſtoßend auf die Nadel wirkt.

Hat man wieder die Nadel AB durch den angenäherten Nordpol N in die Lage ab gebracht und legt nun den Eiſenſtab EF, ſo wie Fig. 30 zeigt, an den Magnet, ſo kehrt die Nadel etwas näher zu der Stellung AB zurück, weil E ein Südpol geworden iſt, der auf ab eine entgegengeſetzte Wirkung hervorbringt.

Wenn man an dem von der Nadel am meiſten entfernten Pole des Magnetes N (Fig. 31) eine Stange weiches Eiſen GH anbringt, ſo verſtärkt ſich die Wirkung des der Nadel zugekehrten Poles; ward alſo A vom Südpole S angezogen, ſo wird, wenn das lange Eiſen GH angebracht iſt, die Nadel noch mehr ihre Richtung ändern. Dieß erfolgt offenbar deswegen, weil der Nordpol N doch etwas abſtoßend auf a wirkte, dieſe Kraft aber nun durch den an N hervorgebrachten Südpol G aufgehoben, S alſo in ſeiner Wirkung geſtärkt wird.

Aehnliche Wirkungen zeigen ſich auch auf die an einem Magnete hängenden Körper. Hängt (Fig. 32) an dem Pole N des Magnetes ein Eiſen E und bringt man ein Eiſen AB von bedeutender Größe mit N in Berührung, ſo fällt E herab, weil der bei A entſtehende Südpol, wenn N ein Nordpol iſt, auf den in dem obern Punkte von E entſtandenen Südpol abſtoßend wirkt und E alſo zwei widerſtreitenden Kräften unterworfen iſt, die in den meiſten Fällen ſich hinreichend aufheben werden, um der Einwirkung der Schwere auf E nicht mehr zu widerſtehen. Auf ähnliche Weiſe macht man den Pol eines Magnetes kraftlos, indem man den gleichnamigen Pol eines ſtärkern Magnetes nähert. Der ſchwächere Magnet läßt dann die Eiſenfeile fallen, die an ihm hing.

Dreiundſiebenzigſte Vorleſung.

Neigung der Magnetnadel.

Um die Frage vollſtändig zu beantworten, nach welchen Geſetzen die Kraft wirke, die den, bloß der Einwirkung der Erde ausgeſetzten, Magnet in ſeine beſtimmte Richtung bringt, müſſen wir Mittel aufſuchen, um zu entſcheiden, ob dieſe Kraft genau nach Norden, vor allem aber, ob ſie genau nach horizontaler Richtung ihre Wirkung ausübt. Bis dahin nahmen wir immer die zur horizontalen Aufſtellung beſtimmte Magnetnadel als ſchon magnetiſirt und dann ſo unterſtützt an, daß ſie horizontal blieb; wir wollen jetzt eine vollkommen unmagnetiſche Nadel zu erhalten ſuchen und dieſe genau

in ihrem Schwerpunkte aufhängen. Ich erwähne hier die Schwierigkeiten nicht, die es hat, eine Stahlnadel vollkommen unmagnetiſch zu erhalten, obgleich es, wie ich ſpäter bemerken werde, ſo leicht geſchieht, daß ſie unter der Bearbeitung ſchon magnetiſch wird, ſondern nehmen an, die Nadel AB (XIV. Fig. 33) ſey genau ſo gearbeitet, daß die horizontale Axe C durch den Schwerpunkt geht. Wie Sie wiſſen, iſt damit zugleich geſagt, daß die Nadel nicht bloß in der horizontalen Lage, ſondern in jeder Lage, die man ihr giebt, ruhend bleibt, indem die Schwerkraft keine Drehung um die Axe bewirkt. Dieſe völlig äquilibrirte Stahlnadel nun wird magnetiſch gemacht, ſo daß B der Nordpol, A der Südpol iſt; wenn man ſie alsdann wieder mit der Axe C auflegt, ſo findet das Gleichgewicht nicht mehr ſtatt, ſondern das nordpolariſche Ende B ſenkt ſich herab und die Nadel kommt (in unſern Gegenden wenigſtens) in einer ſtark geneigten Stellung zur Ruhe; daß aber dieſe Stellung nicht eine zufällige iſt, zeigt ſich dadurch, daß die Nadel um dieſe ſchiefe Stellung Oſcillationen macht, wie das Pendel um die verticale Stellung.

Um mit dieſer Neigungsnadel die wahre Richtung der auf die Nadel wirkenden magnetiſchen Kraft zu finden, giebt es zwei Mittel. Das beſte wäre, die Axe C an einem langen und feinen Faden aufzuhängen, damit die Nadel durch nichts gehindert würde, in jeder Beziehung dem Antriebe zu folgen, den die auf die Magnetnadel wirkende Richtungskraft ausübt; das zweite wäre, der auf einer Unterlage ruhenden Axe C verſchiedene Stellungen bald nach der einen, bald nach der andern Weltgegend zu geben und in jeder dieſer Stellungen die Neigung der Magnetnadel zu beobachten. Wählt man die erſte Methode, ſo findet man, daß die Nadel in derjenigen Verticalebne ruhend bleibt, die wir ſchon aus der Stellung der horizontalen Nadel als die magnetiſche Richtung, als den magnetiſchen Meridian kennen, und daß ſie in dieſer Ebne einen beſtimmten Neigungswinkel, in Sachſen ungefähr von 67 Grad, mit dem Horizonte macht. Bei Anwendung der zweiten Methode findet man dann, wenn die Ebne, in welcher ſich die Nadel frei bewegt, der magnetiſche Meridian iſt, eben jene Neigung von 67°; aber je mehr die Stellung der Axe C von der gegen dieſen Meridian ſenkrechten Richtung abweicht, das heißt, je mehr die Ebne, in welcher die Nadel ſelbſt ihre Bewegung macht, nach Oſten oder Weſten zu geht, deſto mehr nähert ſich die Nadel der verticalen Lage, und erreicht dieſe, wenn die Drehungsebne der Nadel ganz genau ſenkrecht auf den magnetiſchen Meridian iſt.

Da unſere Nadel im genauen Schwerpunkte aufgehängt iſt, ſo kommt bei ihrer Stellung die Schwerkraft gar nicht in Betrachtung und die Richtung der frei ſchwebenden Nadel iſt übereinſtimmend mit der Richtung der magnetiſchen Kraft, welche allein auf die Nadel wirkt. Da dieſe nach CA wirkende Kraft mit dem Horizonte einen Winkel von ungefähr 67° macht, ſo iſt ſie, nach den Grundſätzen der Statik, anzuſehen, als ob ſie aus einer horizontalen Kraft, die ungefähr $^{39}/_{100}$ oder noch nicht ganz $^{2}/_{5}$ der ganzen Kraft (CD = $^{39}/_{100}$ CA, XIV. Fig. 34) beträgt, und aus einer $^{92}/_{100}$ der ganzen Kraft

(CE = $^{92}/_{100}$ CA) betragenden Verticalkraft zuſammengeſetzt wäre, oder ſie kann durch zwei ſolche Kräfte erſetzt werden. Befindet ſich die Axe der Nadel in der Lage, daß die Drehung in der verticalen Ebne des magnetiſchen Meridians geſchieht, ſo wirkt die geſammte *magnetiſche Kraft der Erde* — denn ſo dürfen wir die hier wirkſame Kraft wohl nennen — zur Zurückführung der Nadel in ihre genau richtige Lage, die Oſcillationen der Nadel werden daher hier ſchneller ſeyn, als in jeder andern Stellung; weicht dagegen die Drehungsebne, die ich noch immer als vertical, die Lage der Axe der Nadel als genau horizontal vorausſetze, vom magnetiſchen Meridiane ab, ſo müſſen wir ſo rechnen. Immer bleibt die vertical wirkende Kraft CE (XIV. Fig. 34, 35) in gleicher Stärke wirkſam; aber wenn DCF (Fig. 35) einen in der horizontalen Ebne gezeichneten rechten Winkel bedeutet, CD der magnetiſche Meridian iſt und die Nadel ihre Bewegungen in der Verticalebne GCE macht, ſo muß man die Horizontalkraft CD in zwei gleichfalls horizontale, auf einander ſenkrechte Seitenkräfte CH, CI zerlegen, und nur CI trägt zur Drehung der Nadel bei, weil CH nichts als einen unmerklichen Druck auf den einen Endpunkt der Drehungsaxe hervorbringt. Da nun CI deſto kleiner wird, je mehr CE ſich der rechtwinkligen Stellung gegen den magnetiſchen Meridian nähert, ſo iſt, ebenſo fortſchreitend, die horizontale, auf die Nadel wirkende Kraft deſto kleiner, und wenn die Nadel ſich ſenkrecht auf den magnetiſchen Meridian bewegt, ſo iſt gar keine Horizontalkraft mehr wirkſam, weshalb die Nadel ſich dann, wegen der noch immer auf ſie wirkenden Verticalkraft, vertical ſtellt. Beobachtet man die Oſcillationszeiten einer recht guten, mit möglichſt geringer Reibung an der Axe ſich drehenden Nadel, ſo zeigen auch dieſe, daß die Kraft, welche in der Stellung von Oſt nach Weſt (dieß nämlich auf den magnetiſchen Nordpunkt bezogen) die Nadel zur verticalen Stellung zieht, nur ungefähr neun Zehntel derjenigen iſt, mit welcher die Nadel zu ihrer Neigungsſtellung im Meridian ſelbſt zurückgeführt wird.

Giebt man eben dieſer Nadel dadurch, daß man die Axe der Nadel in einer verticalen Stellung feſthält, die Lage einer horizontalen Nadel, ſo iſt die Horizontalkraft es allein, welche die Nadel zum Meridiane zurückführt; die Oſcillationen der Horizontalnadel werden alſo noch langſamer ſeyn, ſo daß eine Nadel, die 10 Schwingungen in beſtimmter Zeit in ihrer natürlichen Inclinationslage macht, nur etwa 6 in eben der Zeit in horizontaler Stellung macht.

Aſtatiſche Nadel.

Auf dieſe Ueberlegungen gründet ſich eine Aufſtellung der Nadel, welche die Nadel ebenſo der Einwirkung der magnetiſchen Richtungskraft entzieht, wie es bei dem gewöhnlichen Waagebalken in Beziehung auf die Schwere der Fall iſt. Der Grund, warum wir bei einem gut äquilibrirten Waagebalken, der, an einem feinen Faden hängend, horizontal ſteht, es lächerlich finden, zu fragen, ob er eine beſtimmte Richtung nach Norden oder Oſten unter

der Einwirkung der Schwere annehmen werde, liegt darin, daß die vertical wirkende Schwerkraft durchaus kein Beſtreben haben kann, die horizontale Richtung des Waagebalkens gegen irgend eine Weltgegend zu beſtimmen; ſtellt man daher die Magnetnadel ſo auf, daß ihre Axe die Richtung die magnetiſchen Kraft, das iſt, die Richtung der Neigungsnadel hat, ſo iſt hier ebenſo gut wie dort bei dem Waagebalken alle Directionskraft des Magnetismus aufgehoben. Man hat, um diejenigen Wirkungen zu beobachten, die von andern Urſachen abhängen, dieſe aſtatiſche Aufſtellung der Nadel zweckmäßig gefunden, und die in Fig. 36 dargeſtellte Einrichtung iſt ſehr angemeſſen, um der Nadel alle verſchiedenen Stellungen und alſo auch die aſtatiſche zu geben. Hier iſt auf der genau horizontal zu ſtellenden Ebne AB ein eingetheilter Kreis, an welchem der mit der verticalen Säule DE verbundene Zeiger C die Stellung des ganzen oberen Theiles des Inſtruments angiebt. Dieſe verticale Säule läßt ſich ſo, daß ſie immer ſenkrecht auf AB bleibt, um ihre Axe drehen, und da ſie den Kreis FG mit der Magnetnadel NS ſo trägt, daß man beide zuſammen mit Hülfe des bei D angebrachten Halbkreiſes in jede ſchiefe Stellung bringen kann, ſo laſſen ſich alle Erſcheinungen, die ſich in der Lage und den Oſcillationen der Magnetnadel darbieten, hier beobachten. Iſt nämlich zuerſt FG vertical geſtellt, welches an dem Halbkreiſe D durch 90° bemerkt iſt, ſo ſieht man in unſern Gegenden die Nadel, mit ihrem Nordpole nach unten, ihre Neigung von ungefähr 67° bis 90° ändern, während man nach und nach den Zeiger C auf verſchiedene Lagen ſtellt. Hat man den Grad angemerkt, welchen C angiebt, wenn die Neigung 90° war, ſo findet man C um einen Quadranten fortgerückt, wenn die Neigung am kleinſten iſt, und die letztere Stellung iſt die im magnetiſchen Meridiane, die erſtere bezeichnet das magnetiſche Oſten und Weſten. Stellt man C in dieſer oſtweſtlichen Stellung feſt und verändert nun bei D die Lage des Kreiſes FG, ſo ſieht man die Oſcillationen der Nadel immer träger werden, und wenn die Ebne FG um 23 Gr. nördlich gehoben gegen den Horizont geneigt iſt, ſo hat die Nadel alle Richtungskraft verloren, ſie iſt in der aſtatiſchen Aufſtellung und hat gar kein Beſtreben, irgend eine beſtimmte Richtung anzunehmen. Die Ebne, in welcher ſich dann die Nadel bewegt und die dann zugleich durch den Kreis FG dargeſtellt wird, heißt die Ebne des magnetiſchen Aequators, weil ſie ſenkrecht gegen die Linie iſt, in welcher die beiden Pole des Magnetes ihre natürliche Stellung annehmen, und dieſe Ebne des magnetiſchen Aequators ſtellt ſich uns in vieler Hinſicht als merkwürdig dar.

Ungleiche Neigung der Nadel in verſchiedenen Gegenden der Erde.

Die bisher bloß in Beziehung auf unſre Gegenden betrachtete Erfahrung, daß die im ſtrengſten Sinne äquilibrirte Nadel durch das Magnetiſiren anſcheinend am nördlichen Pole ſchwerer wird oder durch die Magnetiſirung ſich einer auf unmagnetiſche Körper nicht wirkenden Kraft der Erde unterworfen

zeigt, führt natürlich zu der Frage, wie ſich die Erſcheinung in andern Gegenden der Erde verhalte. Ich will hier von der nähern Beſtimmung, ob es der wahre Nordpunkt iſt, gegen den die Nadel ſich wendet, noch nicht reden, ſondern bloß auf die Neigung oder Inclination ſehen. Beobachtet man dieſe in verſchiedenen Gegenden, ſo findet man in der Gegend des Erdäquators die Nadel wenig von der horizontalen Stellung abweichend, jenſeits des Aequators dagegen wird der Südpol der Magnetnadel ebenſo gegen die Erde herab gezogen, wie bei uns der Nordpol. Verfolgt man die Beobachtungen genauer, ſo findet man, daß es eine um die Erde gezogene Linie giebt, wo die Nadel im ſtrengſten Sinne horizontal bleibt, alſo gar keine Neigung hat, und dieſe Linie, die zwar dem Erdäquator nahe iſt, aber doch nicht genau mit ihm übereinſtimmt, nennt man den magnetiſchen Aequator der Erde. (S. die Charte Taf. XV.) Geht man von dieſer Linie ſüdlich oder nördlich, ſo nimmt zuerſt die Neigung ſo beträchtlich zu, daß ſie in 10 Grad Abſtand vom magnetiſchen Aequator ſchon beinahe 30 Grad beträgt, aber nach und nach muß man immer weiter fortgehen, um ſie auf 30, 40 Gr. zunehmen zu ſehen; in der Gegend der Canariſchen Inſeln iſt die Neigung ungefähr 60°, in Oberitalien 64°, in Paris 67½°, in Berlin 68°, in Moskau 69°, in London 69¼°, in Petersburg 71°, in Reikiavik 77° u. ſ. w. Der magnetiſche Aequator der Erde ſelbſt iſt kein größter Kreis, ſondern ſcheint eine unregelmäßige Linie zu bilden. Er ſchneidet nicht weit von der weſtlichen africaniſchen Küſte den Erdäquator, geht durch das atlantiſche Meer ſüdlich von demſelben fort, und entfernt ſich in der Nähe der Küſte Braſiliens am meiſten, etwa 15° von demſelben; im großen Südmeere findet ſich, nicht weit von Neu-Guinea, ein zweiter Durchſchnittspunkt, und von da geht der magnetiſche Aequator nördlich vom Erdäquator fort; nördlich von Borneo und Ceylon vorbeigehend erreicht er in dem Meere zwiſchen der indiſchen Halbinſel und Africa ſeine größte Entfernung vom Erdäquator und kehrt ſo zu dem zuerſt erwähnten Durchſchnittspunkte zurück. So wie dieſer magnetiſche Aequator alle diejenigen Punkte auf der Erde verbindet, wo die Neigung der Magnetnadel = 0° iſt (die Nadel horizontal liegt), ſo laſſen ſich auch für alle andern Neigungswinkel auf der Landkarte die Linien gleicher Neigung (iſocliniſchen Linien) ziehen. Dieſe Linien zeigen, je größer die Neigung wird, deſto mehr eine zweimalige Krümmung nach Süden und nach Norden, indem, ſo weit die Beobachtungen reichen, im öſtlichen Aſien die Neigung in 50° nördl. geographiſcher Breite ebenſo groß iſt als im mittlern Aſien in 53° bis 55° nördl. Breite, und im atlantiſchen Meere in 40° Breite dieſelbe Neigung ſtatt findet, wie in Europa in 50° Breite, an der Grenze Aſiens in 57° und in Kamtſchatka in 60° Breite. Aehnliches findet auf der ſüdlichen Halbkugel ſtatt. Die punktirten Linien zeigen in der Charte dieſe Linien gleicher Neigung.

Bis hieher habe ich die Beantwortung der Frage, ob es denn Punkte auf der Erde giebt, wo die Magnetnadel, welche vor dem Magnetiſiren völlig

äquilibrirt war, ſich vertical ſtellt oder wo die Neigung 90° iſt, aufgeſchoben, um das Reſultat vorzubereiten, daß es allerdings zwei ſolche Punkte, einen im Norden und einen im Süden, giebt.

Gehen wir nämlich von unſern Gegenden aus, wo die Neigung 67 bis 68° iſt, grade nach Norden, ſo müßten wir bis nach Spitzbergen (beinahe in 80° Breite) reiſen, um die Nadel eine Neigung von 80° erlangen zu ſehen, dagegen hat die Magnetnadel im nördlichen America ſchon in der Breite von 54° (im ſüdlichſten Theile der Hudſonsbay) eben die Neigung von 80°. Verfolgt man diejenigen Linien auf der Erde, wo die Neigung 83°, 85° und mehr beträgt, ſo findet man immer deutlicher, daß ſie ſich in etwas ovaler Form um einen Punkt herumziehen, der ungefähr $95\tfrac{2}{5}^{\circ}$ weſtlich von Greenwich in $73\tfrac{1}{2}^{\circ}$ nördl. Breite liegt. Parry beobachtete auf ſeiner Polarreiſe eine Neigung von $88\tfrac{3}{4}^{\circ}$, und befand ſich alſo nicht weit von dem Punkte, wo die Neigung 90° betragen muß. Nach der Beobachtung des Capitain Roß fällt dieſer Punkt, in deſſen Nähe er ſein Schiff im Eiſe verlaſſen mußte, etwa $3\tfrac{1}{2}$ Grad ſüdlicher und 1 Grad weſtlicher, in $70^{\circ}\,5'$ nördl. Breite, $96\tfrac{3}{4}^{\circ}$ weſtl. Länge von Greenwich. So wie es aber einen nördlichen magnetiſchen Pol der Erde giebt (denn ſo können wir jenen Punkt nennen), ſo zeigen uns die Linien gleicher Neigung auf der ſüdlichen Halbkugel, daß es dort einen magnetiſchen Südpol ungefähr in 70° Breite grade ſüdlich von Van-Diemensland (nach der Berechnung von Gauß und Weber in $72\tfrac{1}{2}$ ſüdl. Breite, $152\tfrac{1}{2}^{\circ}$ öſtl. Länge von Greenwich) geben muß. In der Nähe dieſes Pols fehlt es an Beobachtungen, ſeine Lage iſt daher nur ungefähr bekannt; am nächſten dürfte ihm ganz vor Kurzem der engl. Capitain Roß (mit den Schiffen Erebus und Terror) gekommen ſeyn.[1]

Die Erde iſt ſelbſt ein Magnet.

Die Erde zeigt ſich uns alſo ſelbſt als ein Magnet, als mit einer nur auf die magnetiſirten Körper wirkenden Kraft begabt, wodurch in der nördlichen Halbkugel der nach Norden zeigende Pol, in der ſüdlichen Halbkugel der nach Süden zeigende Pol der Nadel angezogen wird. Ueberlegen wir nun, daß der Nordpol eines Magnetes den Südpol des andern anzieht, ſo erhellt, daß wir eigentlich dem Nordende unſerer natürlichen und künſtlichen Magnete Südpolarität beilegen müßten, weil dieſer Theil der Nadel vom Nordpole der Erde ſelbſt angezogen wird, und wirklich haben mehrere, vorzüglich franzöſiſche, Schriftſteller dieſen Ausdruck angenommen, daß ſie das nach Norden zeigende Ende der Nadel ihren wahren Südpol nennen und umgekehrt; indeß da wir uns am liebſten an das halten, was in die Augen fällt, ſo trage ich kein

[1] Früher pflegten die Phyſiker vier Magnetpole anzunehmen, nämlich außer den angegebenen noch einen nördlichen im nördl. Sibirien und einen ſüdlichen ſüdweſtlich von der Südſpitze America's; auch der Verf. dieſer Vorleſ. hat dieß in der erſten Ausgabe gethan. Aber Gauß hat dargethan, daß es nicht mehr als zwei Pole geben kann, und es ſchien daher unumgänglich nöthig, auch in dieſem Werke die frühere Anſicht zu verlaſſen. Ueberhaupt iſt in Allem dem Atlas des Erdmagnetismus von Gauß und Weber gefolgt worden. (M.)

Bedenken, der gewöhnlichen Art zu reden gemäß, den nach Norden zeigenden Pol der Nadel den Nordpol oder das Nordende der Nadel zu nennen, obgleich dieß nicht ohne einige Unbequemlichkeit iſt, weil eben dieſer Pol in den allernördlichſten Gegenden, nördlich vom magnetiſchen Pole der Erde, ſich nach Süden wendet. Demgemäß muß eigentlich der nördliche Magnetpol der Erde ein Südpol, der ſüdliche Magnetpol der Erde aber ein Nordpol genannt werden.

Abweichung der Magnetnadel. Linien gleicher Abweichung.

Ueber die Richtung, in welcher die horizontale Magnetnadel zur Ruhe kömmt, habe ich mich bisher immer nur ſehr oberflächlich ausgedrückt; aber dieſe Richtung iſt für die genauere Kenntniß der magnetiſchen Kraft der Erde ſehr wichtig. Damit die auf einer Spitze frei ſchwebende Nadel ſich nicht, der Inclination der magnetiſchen Richtungskraft gemäß, von der horizontalen Lage entferne, muß man die horizontale Nadel nicht ganz genau in ihrem Schwerpunkte unterſtützen, ſondern ſo, daß der Schwerpunkt ſich ein wenig gegen den Südpol zu von dem unterſtützten Punkte entfernt befinde, damit das durch die magnetiſche Kraft bewirkte Sinken des Nordpols aufgehoben werde; reiſt man aber dann mit dieſer für unſere Gegenden eingerichteten Magnetnadel in Gegenden, wo die Neigung geringer iſt, ſo zeigt ſich das Uebergewicht der ſüdlichen Hälfte der Nadel, und man muß ein kleines Gewichtchen an die nördliche Hälfte befeſtigen, damit nun nicht eine Neigung gegen die Horizontallinie eintrete.

Daß die Magnetnadel in ihrer natürlichen Stellung bei uns nicht genau nach Norden zeigt, habe ich ſchon erwähnt; der Winkel, um welchen ſie vom wahren Norden oder vom (aſtronomiſchen) Meridiane, abweicht, heißt ihre Abweichung oder Declination. An den meiſten Orten der Erde findet eine Abweichung ſtatt, und zwar ſo, daß der Nordpol der Nadel an einigen Orten, wie bei uns, nach Weſten abweicht, an andern nach Oſten. In unſern Gegenden beträgt die weſtliche Abweichung ungefähr 17 Grad. Dieſe Abweichungen ſind in der Nähe der magnetiſchen Pole der Erde einer ziemlich genau richtigen und leicht zu überſehenden Regel unterworfen, nämlich der, daß dort die Spitze der Nadel ſich nach dem nächſten magnetiſchen Pole der Erde richtet. Hanſteen hat, in der Ueberzeugung, daß es nicht wohl anders ſeyn könne, durch Beobachtungen der Abweichung zuerſt die Lage der Pole zu beſtimmen geſucht, indem er die Durchſchnittspunkte der Richtungslinien aufſuchte, die ihm die Beobachtungen der horizontalen Nadel im nördlichſten America für den einen Pol, in Sibirien für einen zweiten, in der Gegend ſüdlich von Neuholland für einen dritten und in den Gegenden ſüdlich von America für einen vierten Pol angaben, und ſo hat er die Lage des am genaueſten bekannten Poles ſehr nahe richtig beſtimmt. Parry ſah, als er ſich nördlich von dem über Nordamerica liegenden Pole befand, den Nordpol der Magnetnadel gegen Südweſt oder gegen Südoſt gekehrt, ſo wie es ſeine Lage gegen den aus andern Beobachtungen bekannten magnetiſchen Pol forderte.

Schon ſeit Halley's Zeiten, das heißt ſeit dem Ende des ſiebenzehnten Jahrhunderts, hat man es der Mühe werth gefunden, diejenigen Linien auf der Erdoberfläche aufzuſuchen und aufzuzeichnen, in welchen eine gleiche Abweichung der Magnetnadel vom Meridiane ſtatt findet. Man erwartete nämlich von ihrer Kenntniß große Vortheile für die Schifffahrt, insbeſondere eine Auflöſung der wichtigen Aufgabe, die geographiſche Länge des Punktes, wo ein Schiff ſich befindet, zu beſtimmen. Dieſe Linien gleicher Abweichung, die man, mit einem wohl nicht ganz paſſenden Namen, iſogoniſche (d. i. Linien gleicher Winkel) genannt hat, ſtellen ſonderbare Figuren dar, und dieſes iſt freilich nicht zu verwundern, da die Vergleichung der magnetiſchen Richtung mit dem aſtronomiſchen Meridiane zwar für die Anwendung in der Seefahrt bequem, aber doch nicht eigentlich in der Natur der Sache begründet iſt. Wenn, wie man in früherer Zeit anzunehmen geneigt ſeyn konnte, die beiden wahren Pole der Erde auch ihre magnetiſchen Pole wären, ſo hätte man im Meridiane zugleich eine mit der magnetiſchen Kraft der Erde in unmittelbarer Beziehung ſtehende Linie. Da aber jene Vorausſetzung nicht richtig iſt, ſo iſt die Einmiſchung des aſtronomiſchen Meridians in die bildliche Darſtellung der magnetiſchen Kraft der Erde unnatürlich und willkürlich. Wie wenig paſſend für theoretiſche Beſtimmungen dieſe Linien gleicher Abweichung ſind, das erhellt am beſten, wenn man annimmt, die Lage der Umdrehungsaxe der Erde ſey eine andere, während die magnetiſchen Eigenſchaften der Erde dieſelben blieben; dann hätten wir andere aſtronomiſche Meridiane und ganz verſchiedene iſogoniſche Linien, obgleich in dem Magnetismus der Erde keine Aenderung vorgegangen wäre. Wir wollen indeß die Betrachtungen, zu denen wir hier hingeleitet werden, verlaſſen, um nur zuerſt die Erfahrungen in einer klaren Darlegung zu überſehen.

In manchen Orten auf der Erde iſt die Abweichung der Nadel vom aſtronomiſchen Meridiane Null, und dieſe Orte, wo die Magnetnadel genau nach Norden zeigt, bilden zwei zuſammenhängende Linien. Die eine Linie ohne Abweichung geht ungefähr von demjenigen magnetiſchen Pole, welcher über Nordamerica liegt, aus, durchläuft in beinahe ſüdlicher, nur etwas öſtlicher, Richtung das nördliche America, geht dann nach Braſilien, von dem ſie nur den kleinern Theil als öſtlich liegend abſchneidet, und wendet ſich dann gegen den Südpol der Erde zu in unzugängliche Gegenden. Vom Südpol der Erde geht ſie durch den magnetiſchen Südpol nach Neuholland, läuft in etwa 10 Grad ſüdlicher Breite dem Aequator parallel, wendet ſich dann wieder nördlich durch Arabien, Perſien und Rußland zum Nordpol der Erde, von wo ſie zum magnetiſchen Nordpol und in ſich ſelbſt zurückläuft. Die andere Linie läuft auch (in Ovalform) in ſich ſelbſt zurück, hat aber eine weit geringere Ausdehnung und geht nur durch Oſtſibirien, China und das angränzende Meer. Die erſtere Linie beſteht demnach aus zwei Haupttheilen, von denen jeder zwiſchen den beiden Polen der Erde enthalten iſt, in magnetiſcher Hinſicht aber aus vier Abtheilungen; in zweien derſelben (vom magnetiſchen Nordpol bis

zum Südpol der Erde und vom magnetiſchen Südpol bis zum Nordpol der Erde) zeigt das Nordende der Nadel überall nach Norden, in den andern beiden, weit kleineren, nach Süden. In der andern Linie zeigt die Nadel überall mit dem Nordpol nach Norden. Alle Gegenden, die zwiſchen den beiden Haupttheilen der erſten Linie liegen, haben weſtliche Abweichung, alſo ganz Africa, der größte Theil von Europa und der öſtlichſte Theil von America, außerdem der weſtliche Theil Aſiens, diejenigen Gegenden in Nordaſien, welche von der zweiten Linie ohne Abweichung umſchloſſen werden, und der weſtliche Theil von Neuholland. Alle andern Gegenden der Erde, alſo namentlich der größte Theil ſowohl von Aſien als von America und Neuholland, haben öſtliche Abweichung, ſo daß das Gebiet der letztern bei weitem das größere iſt.

Hinſichtlich der Linien weſtlicher Abweichung iſt zu bemerken, daß ſie anfangs für 5°, 10°, 15° u. ſ. w. weſtlicher Abweichung den beiden Haupttheilen der erſtern Nulllinie ziemlich parallel laufen, und ſo lange dieß der Fall iſt, nimmt die Abweichung zu, je mehr man ſich von jenen beiden Theilen entfernt, bis man in eine Gegend kommt, wo die Abweichung ſich nur noch ſehr wenig ändert; hier, in Africa, etwa 13° N.B. und 4° öſtlich von Greenwich, durchkreuzen ſich zwei Linien gleicher Abweichung (von etwa 22¼°) und theilen das Hauptgebiet der weſtlichen Abweichung in vier Abtheilungen; in zweien derſelben, der nordweſtlichen und ſüdöſtlichen, iſt die Abweichung durchgehends größer, in den andern beiden aber kleiner als 22¼ Grad. Innerhalb des kleinern Gebiets der weſtlichen Abweichung nimmt dieſelbe von der zweiten Nulllinie an nur bis zu 2½ Grad zu; dieſer größte Werth wird in China in etwa 45° N.B., 130° Länge erreicht.

Nicht ſo einfach iſt das Verhalten der iſogoniſchen Linien in den Gegenden öſtlicher Abweichung, die eine einzige zuſammenhängende Fläche bilden. Hier giebt es vier Gegenden, wo die Abweichung ſich wenig ändert:

1)	0° Breite,	116° O.B.	v.	Greenwich,	1¼°	öſtl.	Abweichung
2)	0° „	177°	„	„	10¼	„	„
3)	15° S.B.	140° W.L.	„	„	5¼	„	„
4)	6° N.B.	100° „	„	„	8¾	„	„

In der 1ſten, 2ten, 4ten dieſer Gegenden liegen Kreuzungspunkte von zwei Linien gleicher Abweichung, welche um jeden derſelben herum vier Abſchnitte bilden; in zwei entgegengeſetzten derſelben iſt die Abweichung immer größer, in den andern beiden kleiner als im Durchſchnittspunkte. In der dritten Gegend liegt ein Punkt kleinſter öſtlicher Abweichung, um welchen herum die Abweichung größer iſt. In der Charte Taf. XV ſind die iſogoniſchen Linien ganz ausgezogen, aber durch Punkte unterbrochen, mit Ausnahme der Linien ohne Abweichung, welche wie der magnetiſche Aequator ganz ausgezogen, aber auffallend ſtärker als die übrigen vorkommenden Linien und durch ihre Lage und Richtung von dem Aequator leicht zu unterſcheiden ſind.

Schwierigkeiten bei der genauen Beſtimmung der Declination und Inclination.

Ich darf dieſen Gegenſtand nicht verlaſſen, ohne noch zu bemerken, welche Schwierigkeiten den Beſtimmungen, die wir bisher benutzt haben, entgegenſtehen. Auf dem feſten Lande ſind dieſe in Beziehung auf die Abweichung unbedeutend, da man die Nähe von Eiſenmaſſen vermeiden und die Richtung des Meridians vollkommen genau kennen lernen kann; auf dem Meere aber iſt die Sicherung gegen die Einwirkung des Eiſens im Schiffe minder zuverläſſig und auch die Beſtimmung des wahren Nordens ſchwieriger. Bei den älteren Beobachtungen der Abweichung iſt oft die Vergleichung der Richtung der Magnetnadel mit derjenigen Richtung, in welcher man die Sonne untergehen ſah, benutzt worden; aber dieſes iſt keine gute Beſtimmung, da bei ſtärkerer Strahlenbrechung — und Sie wiſſen, daß dieſe ſehr ungleich iſt, — die Sonne in einem etwas nördlicheren Punkte den ſcheinbaren Horizont erreicht.

Die genaue Beſtimmung der Neigung hat noch weit mehr Schwierigkeit. Da nämlich die Axe der Nadel, wenn ſie gleich dünn iſt, doch immer in einigem Abſtande vom Drehungspunkte eine Reibung an ihrer Oberfläche leidet, ſo hat die Reibung ein nicht unerhebliches Moment und hindert die Nadel an der Erlangung der genau richtigen Stellung. Es iſt offenbar, daß die nur noch wenige Minuten von der richtigen Stellung entfernte Neigungsnadel mit einer höchſt ſchwachen Kraft zu dieſer richtigen Stellung hingezogen wird, indem, wenn CB die Richtung der Nadel, CA die Richtung der magnetiſchen Kraft iſt (XIV. Fig. 37), die Linie AB verhältnißmäßig diejenige Kraft ausdrückt, welche zur Drehung der Nadel beiträgt. Wenn dieſe ſo klein wird, daß ſie die Reibung nicht überwinden kann, ſo bleibt die Nadel bald an der einen, bald an der andern Seite um einige Minuten von der richtigen Stellung entfernt, und die Grenzen dieſer Ungleichheiten lehren uns wenigſtens den Grad der Unſicherheit der Angaben kennen.[1] Da dieſe Unſicherheit davon herrührt, daß zuletzt keine merkliche, den Ausſchlag gebende Kraft vorhanden iſt, ſo hat Mayer eine andere Einrichtung der Neigungsnadel empfohlen, die auch Sabine nach vielmaliger practiſcher Anwendung zweckmäßig gefunden hat. Statt nämlich, wie wir es früher vorausſetzten, die Nadel für alle Stellungen zu äquilibriren oder genau im Schwerpunkte aufzuhängen, wird ſie nur wie ein Waagebalken für die horizontale Stellung abgeglichen und (XIV. Fig. 38) mit einem angelegten Blättchen GH abſichtlich an der untern Seite ſchwerer gemacht. Wird nun die Nadel magnetiſirt, ſo ſinkt ihr nördlicher Theil herab; aber die Nadel nimmt nun nicht die eigentliche Stellung der Neigungsnadel an, ſondern indem (Fig 39, wo das angelegte Stück GH der beſſeren Verſtändlichkeit wegen ſehr breit dargeſtellt iſt) der in C liegende Schwerpunkt gehoben

[1] Aus dieſem Grunde ſieht man auch die Neigungsnadeln ihre Oſcillationen viel weniger lange fortſetzen, als die horizontalen Nadeln, obgleich die langſamen Oſcillationen der letztern eine ſchwächer wirkende Kraft anzeigen.

wird, bleibt AB weniger geneigt, als die Richtung ED der magnetiſchen Kraft es fordert; dieſe Kraft nämlich zöge B herabwärts, aber da dann der Schwerpunkt C gehoben werden müßte, ſo tritt ein Gleichgewicht ein. Um aus dieſer unrichtigen Neigung die richtige abzuleiten, muß man die Nadel in ihrer Unterlage umlegen; dann nimmt ſie eine zu nahe mit der Verticallinie übereinſtimmende Lage an, wie Fig. 40 zeigt, indem die nach ED wirkende Kraft des Magnetismus nun B zu heben ſucht und dem Beſtreben des Schwerpunktes C, herabzuſinken, auf die entgegengeſetzte Art entgegenwirken muß. Daß ſich aus zwei ſolchen Beobachtungen die wahre Neigung finden läßt, erhellt wohl, jedoch wird vorausgeſetzt, daß die unmagnetiſirte Nadel für die horizontale Stellung ganz genau berichtiget war; wenn das ungewiß iſt, ſo muß man durch neues Beſtreichen der Nadel den Nordpol in einen Südpol verwandeln und jene beiden Beobachtungen wiederholen. Dieſe Einrichtung gewährt den Vortheil, daß die Nadel, wie Sabine beſtätigt fand, mit großer Genauigkeit immer dieſelbe Stellung annimmt, weil die Drehungskraft, ſelbſt nahe bei der Gleichgewichtsſtellung, noch ziemlich erheblich bleibt.

Intenſität der magnetiſchen Kraft.

Die bisherigen Unterſuchungen betrafen die Richtung der magnetiſchen Kraft an jedem Orte auf der Erde, und dieſe iſt durch Neigung und Abweichung ſo angegeben, daß man alle Beziehungen, die bloß die Richtung der magnetiſchen Kraft betreffen, dadurch kennen lernt. Aber auch die Stärke der magnetiſchen Kraft iſt in verſchiedenen Gegenden ungleich. Um hierüber Verſuche anzuſtellen, muß man ſehr vollkommen gehärtete Magnetnadeln haben, damit man ſicher ſey, daß dieſe an ſich ſelbſt als unveränderlich angeſehen werden dürfen; die Verſuche über ihre Oſcillationszeiten geben dann die Beſtimmungen über die Ungleichheit der wirkenden magnetiſchen Kraft. Wird nämlich die Nadel um einen beliebigen Winkel von dem magnetiſchen Meridiane entfernt und dann freigelaſſen, ſo wird ſie vermöge der magnetiſchen Kraft, zufolge welcher ſie nur im magnetiſchen Meridiane zur Ruhe kommen kann, in Schwingungen geſetzt, indem ſie ſich nach dem Meridian zu dreht, dann mit der erlangten Drehungsgeſchwindigkeit über denſelben nach der entgegengeſetzten Seite hinaus geht und ſo lange Zeit hin und her ſchwingt. Je ſtärker die magnetiſche Kraft auf die Nadel wirkt, deſto größer iſt die erzeugte Drehungsgeſchwindigkeit und deſto kürzer die Dauer einer Schwingung. Bedient man ſich einer ſolchen Neigungsnadel, die nach allen Richtungen äquilibrirt war, ehe ſie magnetiſirt wurde, ſo dienen die Oſcillationszeiten unmittelbar zur Beſtimmung der Kraft, indem ſchnellere Oſcillationen größere Kraft anzeigen; bedient man ſich aber der horizontalen Nadel, ſo muß man bedenken, daß die horizontal wirkende magnetiſche Kraft vorzüglich da, wo die Neigung der Magnetnadel bedeutend iſt, merklich geringer iſt, daß alſo die Beſtimmung der geſammten magnetiſchen Kraft erſt aus der gehörigen Rückſicht auf die Neigung hervorgehen kann. Nur im magnetiſchen Aequator

giebt die horizontal ſchwingende Magnetnadel unmittelbar die ganze magnetiſche Kraft an. Uebrigens pflegt man gleichwohl die letztere überall aus den Oſcillationszeiten der horizontalen oder Abweichungsnadel herzuleiten, was gar keine Schwierigkeit hat, ſo bald nur die Neigung bekannt iſt, hinſichtlich der bequemern Beobachtung aber nicht geringe Vortheile darbietet.

Eine in der natürlichen Richtung der magnetiſchen Kraft oſcillirende Nadel machte in Peru unter dem magnetiſchen Aequator der Erde in 10 Minuten 211 Oſcillationen, in Paris in eben der Zeit 245 Oſcillationen; die magnetiſche Kraft in Peru, unter dem magnetiſchen Aequator, verhielt ſich alſo zu der in Paris, wie 211 . 211 = 44521 zu 245 . 245 = 60025, das iſt, wie 2 zu 1,3482. Die horizontale Nadel ſchwingt dagegen in Paris langſamer, als in Peru, weil bei der ſtarken Neigung der Nadel, welche dort 67½° beträgt, die horizontal wirkende Kraft nur etwas mehr als ein Drittel der geſammten magnetiſchen Kraft iſt; in mehr nördlichen Gegenden ſind die horizontalen Oſcillationen noch träger, obgleich die geſammte Kraft in den nördlichern Gegenden noch mehr zunimmt.

Die Beobachtungen zeigen, daß die magnetiſche Kraft um den magnetiſchen Aequator der Erde am ſchwächſten iſt und im Allgemeinen mit der Neigung der Nadel zunimmt, daß ſie aber doch keineswegs bei gleicher Neigung oder auf jeder iſocliniſchen Linie in jedem Punkte gleich iſt. Schon Hanſteen hat bemerkt, daß, wenn man auf den Linien gleicher Neigung von Europa nach America fortgehe, man in America viel größere Intenſitäten finde, und Erman zeigt, daß im magnetiſchen Aequator im weſtlichen Theile des atlantiſchen Meeres die magnetiſche Kraft nur ¾ derjenigen iſt, die 100 Grade weſtlicher im ſtillen Meere ſtatt findet. Da man nun, wenn man von dieſem Punkte einer ſo geringen Intenſität nördlich und ſüdlich fortgeht, zu ſtärkern Graden der magnetiſchen Kraft gelangt, ſo haben die Linien gleicher Kraft, die iſodynamiſchen Linien, ſo fern ſie ſo geringen Kräften angehören, Durchſchnittspunkte mit dem magnetiſchen Aequator; dagegen haben die Linien gleicher Kraft, wo die Kraft merklich über ⁴⁄₃ jener ſchwächſten Intenſität ſteigt, keine Durchſchnittspunkte mit dem magnetiſchen Aequator, ſondern bilden in der nördlichen Halbkugel Linien, die ſich in America und im öſtlichen Aſien ſüdlicher ziehn, in den zwiſchenliegenden Erdſtrichen etwas nördlichere Gegenden erreichen. (In der Charte Taf. XV. ſind die iſodynamiſchen Linien ganz ausgezogen und mit 1,0; 1,2; 1,4 u. ſ. w. bezeichnet.) Im Allgemeinen findet man immer zwei derſelben Intenſität entſprechende, aber von einander ganz getrennte iſodynamiſche Linien, von denen die eine ganz oder größtentheils nördlich, die andere ſüdlich vom Aequator liegt und von denen jede in ſich ſelbſt zurückläuft; zwei ſolche zuſammengehörige Linien theilen die Erdoberfläche in drei Zonen, in eine nördliche und ſüdliche, wo die Intenſität größer, und in eine mittlere, wo ſie kleiner iſt. Die größte Intenſität, welche auf der ganzen Erde vorkommt, findet ſich in der ſüdlichen Polargegend, in etwa 70° S.B. und 160½° öſtl. Länge von Greenwich; ſetzt man nach der bisher üblichen willkürlichen Einheit die Intenſität

in London = 1,372, ſo iſt ſie an dem angegebenen Punkte = 2,260. Auf der nördlichen Halbkugel iſt der größte Werth der Intenſität = 1,763; dieſer findet ſich in $54\frac{1}{2}^0$ N.B. und $98\frac{1}{2}$ weſtllicher Länge von Greenwich. Demnach liegt dieſer Punkt etwa 19° ſüdlich vom nördlichen Magnetpol in Nordamerica, der Punkt des ſüdlichen Maximums aber $2\frac{1}{2}$ nördlich und 8° öſtlich vom ſüdlichen Magnetpol. Uebrigens hängen dieſe Punkte mit den Magnetpolen nicht nothwendig zuſammen; auch findet ſich in der nördlichen Polargegend noch ein drittes Maximum, nämlich 1,692, in derjenigen Gegend von Sibirien, wo Hanſteen einen zweiten magnetiſchen Nordpol vermuthete. — Die vorhin von dem Laufe der iſodynamiſchen Linien gegebene allgemeine Beſchreibung paßt aber nur für die Linien, welche einer Intenſität von 1,055 und darüber entſprechen. Zwiſchen den Intenſitäten 1,055 und 1,044 entſpricht jeder Intenſität nur eine einzige, in ſich zurücklaufende Linie, welche ungefähr wie die Zahl 8 gebildet iſt. Für noch kleinere Intenſitäten als 1,044 endlich haben wir wieder zwei abgeſonderte, in ſich zurücklaufende, mehr ovalförmige iſodynamiſche Linien zu unterſcheiden, welche die Erdoberfläche in drei Theile theilen. Der bei weitem größte derſelben hat größere Intenſität; die andern beiden, von jenen Linien umſchloſſenen Räume, welche gleichſam Inſeln bilden, haben kleinere. Je mehr die Intenſität abnimmt, deſto kleiner werden dieſe beiden correſpondirenden inſulariſchen Räume, bis endlich jeder von beiden ſich auf einen einzigen Punkt reducirt, in welchem die Intenſität ihren kleinſten Werth hat, und von welchem aus ſie nach allen Richtungen größer wird. Dieſe Punkte kleinſter Intenſität liegen in etwa 5° N.B., $178\frac{1}{2}^0$ O.L. und 18° S.B., $9\frac{3}{4}^0$ W.L.; die Intenſität beträgt dort 0,93, hier 0,809. An dem letztern Punkte alſo, welcher nahe bei St. Helena liegt, findet ſich die kleinſte auf der ganzen Erde vorkommende Intenſität, welche demnach nur etwa den dritten Theil der vorkommenden größten ausmacht.

Die Unterſuchungen über die Intenſität der magnetiſchen Kraft ſind erſt in der neueſten Zeit durch von Humboldt in ihrer Wichtigkeit dargeſtellt und ſeitdem weiter verfolgt worden. Offenbar geben ſie uns wichtige Belehrungen über die Austheilung der magnetiſchen Kraft der Erde, und müſſen ſehr weſentlich beitragen, unſere Kenntniſſe über den Erdmagnetismus zu berichtigen und eine Theorie aller dieſer Erſcheinungen herbeizuführen.

Vierundſiebenzigſte Vorleſung.

Die neulich betrachteten Erfolge der Einwirkung der magnetiſchen Kräfte auf unſere Magnetnadeln ſollten uns nun billig zu der Beantwortung der Frage führen, welche Austheilung der magnetiſchen Kräfte in der Erde ſelbſt ſtatt findet; aber um hiebei nichts aus den Augen zu laſſen, was die

Beobachtungen darbieten, muß ich noch bei den Aenderungen, welche die Richtung und Stärke der magnetiſchen Kraft im Laufe der Zeit erleiden, verweilen.

Aenderungen der Neigung und der Abweichung.

Die Inclination der Nadel, welche nach der gewöhnlichen Angabe Robert Norman in London 1576 entdeckte, iſt in früherer Zeit ſelten und nicht vollkommen genau beobachtet worden, indeß ſind doch auch dieſe älteren Beobachtungen zu mehrern wichtigen Beſtimmungen hinreichend. In London war die Neigung 1576 nahe an 72°, im Anfange des vorigen Jahrhunderts oder kurz nachher gegen 75° und jetzt iſt ſie nicht völlig 69¾°; in Paris war ſie 1671 75°, 1754 72¼°, 1780 71° 48′, 1806 69° 12′, 1820 68° 20′, 1825 68°, jetzt iſt ſie etwa 67⅓°. Ebenſo iſt ſie in allen Gegenden Deutſchlands im Abnehmen.[1] Die Linie ohne Neigung ſcheint nach den neueſten Beobachtungen ihre Durchſchnittspunkte mit dem Aequator und ihre größte Entfernung von demſelben etwas weſtlicher zu haben, als es nach den von Hanſteen für das Jahr 1780 geſammelten Beobachtungen der Fall war. Dieſes würde auf ein Fortrücken der magnetiſchen Erdpole nach Weſten hinzuweiſen ſcheinen, und ſo viel wenigſtens iſt klar, daß, wenn der magnetiſche Nordpol im nördlichen America ſich von Europa weiter nach Weſten entfernt, jeder Ort in Europa immer mehr in Linien geringerer Neigung hineinrückt, wie Sie bei einem Blicke auf die Charte leicht überſehen.

Noch auffallendern Aenderungen iſt die Abweichung unterworfen. Sie iſt in frühern Zeiten in unſern Gegenden öſtlich geweſen, dann aber weſtlich geworden, und kürzlich hat die weſtliche Abweichung ihren größten Werth erreicht; jetzt iſt ſie noch immer weſtlich, aber abnehmend. Von Paris und London haben wir am längſten fortgeſetzte Beobachtungen. In Paris betrug die öſtliche Abweichung im Jahre 1580 11½°, im Jahr 1618 8°, die Nadel zeigte genau nach Norden im Jahre 1663, ihre weſtliche Abweichung war 8° 10′ im Jahre 1700, 10° im Jahre 1712, 20° im Jahre 1780, und erreichte gegen das Jahr 1814 22° 34′, worauf ſie abnahm und im Jahre 1835 wenig über 22° betrug. In London betrug 1580 die öſtliche Abweichung 11 Grad, 1657 fand weder öſtliche noch weſtliche Abweichung ſtatt, 1692 war die weſtliche Abweichung 6°, 1750 ungefähr 18°, 1797 war ſie 24° und nahm nun ſehr langſam zu, ſo daß die Nadel 1819 die größte weſtliche Abweichung, etwas mehr als 24½°, erreichte; ſeitdem iſt auch dort die Declination in langſamem Abnehmen. Im öſtlichen Deutſchland iſt die Abweichung länger abnehmend und hat ſich ſeit 1814 ſtark vermindert.

Dieſe Aenderungen der Abweichung an jedem Orte bringen im Fortgange der Zeit die auffallendſten Aenderungen der Linien gleicher Abweichung hervor, und dieſelben ſind vorzüglich darum zu merken, damit man ſich nicht verleiten laſſe, ſolche Unregelmäßigkeiten, wie ſie jetzt die Linie ohne Abweichung in Aſien zeigt, für bloße Folge örtlicher Einwirkungen der Gebirge und der unveränderlichen Theile der Erde anzuſehen. Im Jahre 1600 ging die Linie

[1] Nach Hanſteen betrug die jährliche Abnahme um 1780 5—6 Min., im Jahre 1830 nur 3 Min. (M.)

ohne Abweichung von Africa beinahe genau nördlich bis nach Finnland und Lappland, wo ſie ſich weſtlich wandte und dann an der Südoſtküſte von Island vorbei, ſüdlich auf die Nordküſte von Südamerica zulief. Sie umſchloß in Europa ovale Linien gleicher Abweichung, in deren Mitte England mit 9° öſtlicher Abweichung lag. Im Jahre 1700 hatte ſich dieſe ſtarke Krümmung mit den eingeſchloſſenen ovalen Linien gleicher Abweichung ganz verloren, und der regelmäßigere Theil der Linie ohne Abweichung hatte ſich auf die Weſtſeite Africa's hin begeben, von wo ſich dieſe Linie in mäßiger Krümmung nach der Küſte von Nordamerica wandte. Dagegen ſcheint im Jahre 1700 die durch das öſtliche Aſien gehende Linie ohne Abweichung frei von den Krümmungen geweſen zu ſeyn, die ſie jetzt angenommen hat. Die ſchon ſeit 1700 durch das atlantiſche Meer gehende Linie ohne Abweichung hat ſich immer mehr gegen die Küſte von Braſilien hin gezogen nnd hat ſie, nach Erman, jetzt wirklich erreicht. Daß mit dieſen Aenderungen auch entſprechende Aenderungen der übrigen Linien gleicher Abweichung verbunden geweſen ſind, verſteht ſich von ſelbſt. So lange die weſtlich von Europa liegende Linie ohne Abweichung, die ſich von uns entfernt, uns noch nahe war, rückte jeder Ort in Europa nach und nach in Linien größerer weſtlicher Abweichung hinein; jetzt iſt die Linie größter Abweichung über unſere Gegenden hinausgerückt und die Linien kleinerer weſtlicher Abweichung kommen in unſere Gegenden, deſto mehr, je näher die aſiatiſche Linie ohne Abweichung zu uns heran kömmt.

Daß auch die Intenſität des Magnetismus in unſern Gegenden abnimmt, hat man erſt neuerlich bemerkt. Wenn, wie es ſcheint, der magnetiſche Nordpol ſich von uns entfernt, ſo iſt es natürlich, daß wir ebenſo nach und nach zu Linien geringerer Intenſität gelangen, wie zu Linien geringerer Neigung, wenn gleich dieſe nicht genau mit einander übereinſtimmen.

Legrand hat in Hinſicht auf die Aenderungen der Abweichung und Neigung die Bemerkung mitgetheilt, daß man ſie in Verbindung betrachten müſſe, um ſie einfacher zu überſehen. Die wahre Richtung der magnetiſchen Kraft ändere ſich in Paris gleichförmig und durchlaufe eine Kegelfläche, die an der Spitze einen Winkel von 17° 19′ bilde; ſeit 1666, wo die Abweichung in Paris = 0 war, bis 1819, wo ſie ungefähr am größten war, habe die Richtung der Nadel auf dieſer Fläche 69° 9′ durchlaufen, und wenn man darnach die Abweichung und Neigung für die einzelnen Jahre berechne, ſo finde man Zahlen, die bei der Inclination höchſtens 17′, bei der Declination höchſtens 36′ von den Beobachtungen abweichen. Wenn ſich die Richtigkeit dieſer Bemerkung, daß man die Aenderung der Richtung der magnetiſchen Kraft als gleichmäßig finde, auch für andere Orte beſtätigte, ſo würde die Axe, um welche herum ſich dieſe Richtungslinien gleichförmig bewegen, eine für jeden einzelnen Ort ſehr wichtige Linie ſeyn.

Jährliche und tägliche Aenderungen der Richtung und Stärke der magnetiſchen Kraft.

Die Abweichung nimmt nicht von einem Tage zum andern und von einer Stunde zur andern gleichmäßig zu oder ab, ſondern ſchon Wilke, Caſſini u. a. fanden, daß die horizontale Nadel um 2 bis 3 Uhr Nachmittags am meiſten weſtlich und früh Morgens am meiſten öſtlich ſtand. Im hohen Sommer beträgt dieſe Bewegung in unſern Gegenden etwa ¼ Grad oder noch darüber; im Winter um die Zeit des Winterſolſtitiums kaum halb ſo viel. Beaufoy fand für London 8½ Uhr als die Zeit der geringſten weſtlichen Abweichung, 1½ Uhr als die Zeit der größten Abweichung, und der Unterſchied beider betrug um das Jahr 1820 in London 9 Minuten. Auch Beobachtungen an andern Orten auf der nördlichen Halbkugel ſtimmen hiermit überein.

Barlow hat eine neue Methode befolgt, um die täglichen Variationen — ſo nennt man die Aenderungen der Abweichung — merklicher zu machen, indem er die Kraft der Nadel durch in ihrer Nähe angebrachte Magnete ſchwächte. Es iſt nämlich offenbar, daß, wenn die Nadel AB (XIV. Fig. 41) genau nach Norden gerichtet iſt und man ihrem Nordpole den Nordpol N eines Magnetes nähert, dieſer ſie aus ihrer Richtung zu treiben ſtrebt, alſo die Richtungskraft nach Norden hin ſchwächt. Iſt dieſes in bedeutendem Maaße geſchehen und man läßt den Magnet ganze Tage in gleicher Stellung, ſo werden die täglichen Schwankungen der Magnetnadel viel ſtärker und gehen auf mehrere Grade. Dabei hat Barlow noch eine andere Bemerkung gemacht. Wenn man durch nahe gebrachte Magnete die Nadel in andern Richtungen, abweichend vom magnetiſchen Meridiane, zur Ruhe bringt, ſo ſind die Schwankungen der Nadel im Laufe des Tages bei jeder dieſer Stellungen anders, und es giebt eine Stellung der Magnetnadel, bei welcher gar keine täglichen Schwankungen eintreten; dieſe iſt in London merklich vom magnetiſchen Norden abweichend von NNW nach SSO gerichtet. Allerdings ſcheint dieſe Linie von Wichtigkeit zu ſeyn; aber man muß bedenken, daß in allen den Verſuchen, wo die Nadel in Rückſicht ihrer Richtungskraft geſchwächt iſt, ſie von einer Menge von Nebenumſtänden abhängig gemacht wird (weshalb ſchon Caſſini die Schwankungen ſchwacher Nadeln unregelmäßig fand), daß ferner die Kraft der Magnete ſelbſt bei der größern Tageswärme eine geringere iſt und daß daher auf dieſe Verſuche und Beobachtungen kein allzu großes Gewicht gelegt werden darf.

Was die Urſache dieſer ſeit 1683 bekannten täglichen Aenderungen der ohne fremde Störung beobachteten Nadel betrifft, ſo darf man ſie wohl in der ungleichen Erwärmung der Erde ſuchen. Jeder Magnet wirkt etwas ſchwächer, wenn er warm iſt; dehnen wir dieſe Erfahrung auf die verſchiedenen Theile der Erde aus, ſo müſſen Vormittags die öſtlichen Theile der Erde weniger anziehend wirken, die weſtliche Abweichung muß zunehmen und ungefähr um dieſelbe Zeit, wie die größte Tageswärme, ihr Maximum

erreichen. Chriſtie hat die täglichen Aenderungen durch eine Reihe thermomagnetiſcher Verſuche mit dieſen ſpäter erſt zu erwähnenden Erſcheinungen in Verbindung geſetzt; ich weiß aber nicht, ob man ſeine Schlüſſe als recht genügend anſehen kann.

Auch die magnetiſche Kraft der Erde iſt täglichen Wechſeln unterworfen und Hanſteen findet ſie um 4 bis 5 Uhr Nachmittags am ſtärkſten, um 11 Uhr Morgens am ſchwächſten. Foſter aber, der auf Spitzbergen die Oſcillationen ſowohl der Neigungsnadel, als der horizontalen Nadel zu verſchiedenen Tagesſtunden beobachtet hat, findet aus 11tägigen Beobachtungen, daß die Neigungsnadel kurz nach Mitternacht am ſchnellſten, um 3 Uhr Nachmittags am langſamſten vibrirte, ſtatt daß bei der horizontalen Nadel faſt genau das Umgekehrte eintrat. Bei jener mußte man eine Zunahme der Kraft um $^1/_{116}$ von Mittag bis Mitternacht, bei dieſer in eben der Zeit ein Abnehmen der Kraft um $^1/_{70}$ annehmen. Dieſer anſcheinende Widerſpruch hebt ſich, wenn man um Mittag die ganze magnetiſche Kraft, ſo wie die Neigungnadel ſie angiebt, am kleinſten, zugleich aber die Neigung um mehr als 10 Minuten kleiner als um Mitternacht annimmt, indem bei geringer werdender Neigung der in horizontaler Richtung wirkende Theil der Kraft größer wird.

Auch nach den Jahreszeiten iſt die Aenderung der Abweichung etwas verſchieden; Caſſini fand vom Januar bis April die weſtliche Abweichung größer als in den Sommermonaten. In Göttingen iſt nach mehrjährigen Beobachtungen die tägliche Variation im April am größten, im December am kleinſten.

Neben dieſen ziemlich regelmäßigen Veränderungen der Abweichung treten auch zuweilen plötzliche Veränderungen ein. Beaufoy hat dieſe zuweilen bei Gewittern bemerkt; auffallender und beſtimmter (obgleich nicht ohne Ausnahme) gehen ſie bei Nordlichtern hervor, worauf ich nachher noch zurückkomme.

In der neueſten Zeit iſt durch Anregung von Al. von Humboldt und Gauß die allgemeine Aufmerkſamkeit auf die in der Richtung und Stärke der magnetiſchen Kraft unaufhörlich ſtatt findenden Veränderungen gelenkt worden. Gauß hat zu dieſem Zwecke, insbeſondere zur Beobachtung der Variation der Magnetnadel, einen Apparat, von ihm Magnetometer genannt, angegeben, der wegen ſeiner ſofort einleuchtenden ungemeinen Zweckmäßigkeit bei Beobachtungen dieſer Art jetzt allgemein zur Anwendung kommt. Als Magnetnadel dient hierbei nicht eine dieſem Namen entſprechende kleine Nadel wie früher, ſondern ein an einem Seidenfaden oder Draht horizontal aufgehängter, möglichſt kräftig magnetiſirter, in einen Kaſten eingeſchloſſener ſchwerer Magnetſtab von einem Pfund oder mehreren Pfunden Gewicht und 1 oder mehr Fuß Länge,[1] der darum bei weitem den Vorzug verdient (deſto mehr, je ſchwerer er iſt), weil er von zufälligen Störungen, Luftbewegungen u. ſ. w. ungleich weniger afficirt wird, weil ſeine Schwingungen viel ausgedehnter und langſamer ſind und darum leichter beobachtet werden können, auch die Schwingungsbogen ſich nur ſehr langſam vermindern u. ſ. w. Am einen Ende des

[1] Der Magnetometer in der Göttinger Sternwarte hat einen 25 Pfund ſchweren Magnetſtab.

Magnetſtabs iſt ſenkrecht gegen die Länge deſſelben ein kleiner Spiegel befeſtigt, in welchem ſich eine in beträchtlicher Entfernung davon vertical befeſtigte, in kleine Theile (Millimeter) getheilte Scale ſpiegelt; hinter derſelben und etwas höher befindet ſich ein gegen die Mitte des Spiegels gerichtetes Fernrohr (Theodolit), durch welches man das Spiegelbild der Scale oder eines Stückes derſelben beobachtet und insbeſondere denjenigen Scalentheil, welcher von dem verticalen Ocularfaden im Geſichtsfelde des Fernrohrs abgeſchnitten wird, ablieſt. Hierdurch werden die feinſten Beobachtungen möglich, da jede Veränderung der Stellung der Magnetnadel mit einer entſprechenden, nur weit größeren Veränderung des Ortes des Spiegelbildes verbunden iſt, in Folge deren immer andere Scalentheile abgeleſen werden; iſt z. B. der Magnetſtab 1 F. lang und die Scale 15 F. von demſelben entfernt, ſo ſind die Bewegungen des Spiegelbildes 60mal größer, als die der Enden des Magnetſtabes. Aus den abgeleſenen Scalentheilen und den bekannten Dimenſionen des Apparats läßt ſich der Betrag der Variation leicht berechnen. Die große Entfernung des Beobachters gewährt zugleich den Vortheil, die Nadel vor mancherlei bei unmittelbarer Nähe deſſelben unvermeidlichen Störungen zu bewahren. — Soll das Magnetometer zur Beſtimmung des Werthes der horizontalen Intenſität dienen, ſo wird ein zweiter Magnetſtab, ein ſogenannter Ablenkungsſtab, ſo aufgeſtellt, daß die Richtung ſeiner Axe gegen den magnetiſchen Meridian ſenkrecht ſteht und die Axe des Magnetometerſtabes halbirt; man mißt dann die Entfernung der Mittelpunkte beider Stäbe, diejenige Ablenkung des Magnetometers, welche der Ablenkungsſtab hervorbringt, und die Dauer einer Schwingung des letzteren. — Um die kleinſten Variationen der horizontalen Intenſität zu beobachten, dient das ſogenannte Bifilarmagnetometer, ein Magnetſtab, der an zwei langen Fäden aufgehängt iſt, genauer an einem einzigen, deſſen Enden am Stabe befeſtigt ſind, deſſen Mitte aber oben über zwei an der Decke befeſtigte cylindriſche Rollen geht, die beinahe ebenſo weit als die unteren Aufhängepunkte von einander abſtehen. Durch abgeſonderte Stellung der Verbindungslinie der oberen oder unteren Befeſtigungspunkte gegen den Stab kann man dieſem jede beliebige Lage gegen den magnetiſchen Meridian geben; in der ſenkrechten wird er von der geringſten Aenderung der magnetiſchen Intenſität merklich afficirt. Um die Aenderungen der Lage des Stabes zu beobachten, iſt auf demſelben in der Mitte ein Spiegel angebracht, in welchem man durch ein Fernrohr eine entfernte Scale beobachtet.

Mit Apparaten der beſchriebenen Art werden ſeit 1834 nicht nur in Göttingen an beſtimmten Terminen Beobachtungen angeſtellt, ſondern gleichzeitig auf einer ſehr großen Anzahl von magnetiſchen Stationen, die in Folge der Aufforderung der oben gedachten großen Gelehrten zunächſt in Deutſchland (Berlin, Breslau, Freiberg, Leipzig, Prag, München u. ſ. w.), dann aber auch außerhalb deſſelben, in Italien (Mailand), Ungarn, Dänemark (Kopenhagen), Schweden (Upſala) u. ſ. w., namentlich aber in den geſammten

der Herrſchaft Großbritanniens und Rußlands unterworfenen Gebieten, ſelbſt in Canada, Indien, Vandiemensland, Kamtſchatka u. ſ. w. nach und nach errichtet worden ſind und jetzt bereits die ganze bewohnte Erde umfaſſen, ſo daß der magnetiſche Verein zu einer außerordentlich großen, noch immer zunehmenden Zahl von Theilnehmern in allen Ländern angewachſen iſt. An allen dieſen Orten wird in beſtimmten Terminen gegenwärtig viermal im Jahre 24 Stunden lang von 5 zu 5 Minuten der Gang der Declination und der horizontalen Intenſität beobachtet. Die Reſultate dieſer Vereinigung ſind ſchon bis jetzt von großer Bedeutung geweſen, und das Verhalten der Störungen der magnetiſchen Kraft der Erde in Betreff der Declination und horizontalen Intenſität iſt jetzt in ſeinen kleinſten Einzelheiten bekannt. Es hat ſich unter Anderem ergeben, daß die plötzlichen Aenderungen der magnetiſchen Kraft auf der ganzen Erde gleichzeitig eintreten und in Europa in der Regel an nördlicheren Orten größer als in ſüdlicheren ſind, woraus wir ſchließen müſſen, daß wir die Urſachen derſelben meiſtens im Norden von uns zu ſuchen haben.

Theorie des Erdmagnetismus.

Bei ſo zahlreichen Beobachtungen über Richtung und Stärke der magnetiſchen Kraft der Erde ſollte man glauben, daß es nicht ſchwer ſeyn müßte, über die Art der Einwirkung der Erde, über die Lage ihrer magnetiſchen Pole u. ſ. w. etwas ganz Genaues anzugeben. Gleichwohl hat dieſes große Schwierigkeiten. Ein Theil dieſer Schwierigkeiten entſteht daraus, daß wir practiſcher Zwecke wegen unſre Aufmerkſamkeit vorzüglich auf die Lage der horizontalen Nadel gegen den aſtronomiſchen Meridian jedes Ortes richten, obgleich es ziemlich deutlich zu erhellen ſcheint, daß dieſe Meridiane in keinem natürlichen Zuſammenhange mit dem Magnetismus der Erde ſtehen, und wir würden vielleicht eine etwas beſſere Ueberſicht der Erſcheinungen gewinnen, wenn wir die Richtungen der magnetiſchen Kraft an verſchiedenen Orten auf eine für die Natur der Sache angemeſſenere Weiſe zuſammen zu ordnen wüßten.

Die frühern Verſuche, die magnetiſche Wirkſamkeit der Erde durch Hypotheſen zu erklären, indem man der Erde eine beſtimmte magnetiſche Beſchaffenheit beilegte, ſind ohne allen Erfolg geblieben. Die einfachſte Hypotheſe war die von Euler aufgeſtellte, nach welcher man einen einzigen ſehr kleinen Magnet im Mittelpunkte der Erde annahm, oder vielmehr vorausſetzte, der Magnetismus ſey in der Erde ſo enthalten, daß ſeine Wirkung derjenigen eines ſolchen fingirten unendlich kleinen Magnets gleichkomme. Nach dieſer Vorausſetzung wären die beiden Punkte, in denen die verlängerte magnetiſche Axe jenes Centralmagnets die Erdoberfläche trifft, die magnetiſchen Pole der Erde, in denen die Magnetnadel vertical ſteht und die Intenſität am größten iſt; in dem größten Kreiſe zwiſchen beiden Polen (dem magnetiſchen Aequator) wäre die Inclination null und die Intenſität halb ſo groß als in den Polen; Inclination und Intenſität könnten nur von dem Abſtande von jenem Aequator abhängen und die Richtung der horizontalen Nadel müßte mit der Richtung

eines nach dem magnetiſchen Nordpole gezogenen größten Kreiſes zuſammenfallen. Mit der Wirklichkeit ſtimmt demnach dieſe Hypotheſe gar nicht überein, ſelbſt dann nicht, wenn man ſie dahin modificirt, daß der Centralmagnet nicht gerade durch den Mittelpunkt der Erde gehen ſoll, wie Tobias Mayer that, der ihn etwa um den 7ten Theil des Erdhalbmeſſers vom Mittelpunkte entfernt ſetzte. Dennoch nahm noch neuerdings Biot einen Centralmagnet an, deſſen beide Pole einander unendlich nahe und zwar in der Nähe des Erdcentrums liegen müßten.

Hanſteen nahm zwei magnetiſche Axen, zwei unendlich kleine Magnete von ungleicher Lage und Stärke, daher auch vier Magnetpole an und ſuchte dieſe Hypotheſe den beobachteten Erſcheinungen anzupaſſen, was ihm jedoch auch nicht oder wenigſtens nur auf höchſt mangelhafte Weiſe gelungen iſt, da zwiſchen ſeiner Rechnung und den Beobachtungen ſehr große Differenzen übrig blieben, wiewohl allerdings durch ſeine Hypotheſe den Erſcheinungen beſſer Genüge geleiſtet wurde, als durch die Annahme einer einzigen magnetiſchen Axe. Hiernach ſind wir zu dem Schluſſe genöthigt, daß der Magnetismus des Erdkörpers weder in einem, noch in ein paar einzelnen unendlich kleinen Magneten concentrirt gedacht werden kann.

Die erſte eigentliche Theorie des Erdmagnetismus hat neuerdings der ſcharfſinnige Gauß aufgeſtellt, ohne dabei von irgend einer beſondern Hypotheſe über die Vertheilung der magnetiſchen Flüſſigkeiten im Erdkörper auszugehen. Als Grundlage diente dabei nur die Vorausſetzung, daß die erdmagnetiſche Kraft die Geſammtwirkung der magnetiſirten Theile des Erdkörpers iſt und die Abſtoßung und Anziehung, welche dieſelben ausüben, im verkehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung ſtatt findet. Die Theorie ſelbſt, welche durchaus auf mathematiſcher Rechnung beruht, kann hier nicht mitgetheilt, nicht einmal angedeutet werden, da eine allgemein faßliche und kurze Darſtellung derſelben unmöglich wäre. Die Art der wirklichen Vertheilung der magnetiſchen Materien in der Erde bleibt dabei unbeſtimmt, da ſich unzählige verſchiedene Vertheilungsarten des Magnetismus im Innern eines Körpers denken laſſen, aus welchen allen dieſelbe Wirkung nach außen hervorgeht; man kann aber nur auf eine einzige Art diejenige fingirte Vertheilung des Magnetismus auf der Oberfläche der Erde angeben, welche den wirklich im Innern ſtatt findenden hinſichtlich der daraus entſtehenden Kräfte völlig gleichkommt, und findet dann, daß die Dichtigkeit des magnetiſchen Fluidums an zwei Stellen der ſüdlichen Erdhälfte einen kleinſten, an einer Stelle der ſüdlichen Halbkugel einen größten Werth haben würde. Betrachtet man die ganze Erde als einen wirklichen Magnet, ſo muß man, wie Gauß nachweiſt, durchſchnittlich jedem Theile derſelben, der ein Achtel Cubikmeter (etwas über 4 rhein. Cubikfuß) groß iſt, oder jedem Erdwürfel von etwa 1½ Fuß Seite eine ebenſo ſtarke Magnetiſirung beilegen, als ein von Gauß angewandter und unterſuchter einpfündiger Magnetſtab enthält, und 8464 Millionen ſolcher Magnetſtäbe mit parallelen Axen wären erforderlich, um die geſammte magnetiſche Wirkung der

Erde nach außen zu erſetzen. Da aber die Erde an ihrer Oberfläche und in deren Nähe gewiß weit weniger magnetiſirt iſt, als jener durchſchnittlichen Angabe entſpricht, ſo muß die Magnetiſirung der Erde im Innern ungleich größer ſeyn.

Magnetiſche Eigenſchaften des weichen Eiſens unter Einwirkung des Erdmagnetismus.

Die in der neueſten Zeit unternommenen Reiſen in die Nähe des im nördlichen America liegenden magnetiſchen Poles haben auf einen Umſtand, den man früher nicht ſehr beachtet hatte, aufmerkſam gemacht. Obgleich nämlich frühere Seefahrer ſchon gefunden hatten, daß auf dem Schiffe keine genaue Uebereinſtimmung zwiſchen den unter verſchiedenen Umſtänden beobachteten Stellungen der Magnetnadel ſtatt findet, ſondern dieſe ihre Richtung gegen die Weltgegenden etwas ändert, wenn das Schiff ſeine Richtung bedeutend ändert, obgleich namentlich Flinders aus ſeinen Beobachtungen bei Neuholland geſchloſſen hatte, daß dieſe Unſicherheit in der Richtung der Magnetnadel da bedeutender werde, wo die Neigung der Nadel ſehr groß iſt, ſo wurde es doch 1820 als etwas Unerwartetes angezeigt, daß Roß bei ſeiner Aufſuchung einer nordweſtlichen Durchfahrt die Declination der Nadel viel anders gefunden habe, wenn das Schiff oſtwärts, als wenn es weſtwärts ſegelte. Man bemerkte indeß bald, daß jede fremde Einwirkung auf die Magnetnadel da am wirkſamſten ſeyn müſſe, wo die Richtungskraft geringer iſt, daß aber die Richtungskraft da, wo die Neigungsnadel ſenkrecht iſt, ganz und gar verſchwindet, alſo in der Nähe dieſer Gegenden auch nur ſehr gering ſeyn kann. Die Beobachtung zeigte auch, daß die horizontale Nadel dort ſo träge war, daß ſie kaum die Reibung zu überwinden vermochte, und nur, wenn man durch kleine Erſchütterungen der Unterlage, worauf ſie ruhte, die Wirkung der Reibung abwechſelnd unterbrach, ziemlich auf eine immer gleiche Richtung zurückkam.

Als Urſache jener, von der Lage des Schiffes herrührenden, Aenderungen mußte man offenbar das Eiſen im Schiffe annehmen; aber wir ſind gewohnt, das Eiſen als auf beide Pole ganz gleich wirkend anzuſehen, und wenn wir darin Recht hätten, ſo könnten etwas entferntere Eiſenmaſſen, die vom Nordpole der Nadel nicht viel mehr oder minder als vom Südpole entfernt ſind, nicht erheblich auf ſie einwirken. Dieſe gleiche Wirkung der Eiſenmaſſen auf beide Pole findet aber nicht ſtatt, wie Barlow durch eigens darauf gerichtete Verſuche zeigte. Stellt man nämlich die Nadel auf einem horizontalen Tiſche auf, über welchem eine große eiſerne Kugel in einem Kreiſe, deſſen Centrum genau über der Mitte der Magnetnadel liegt, herumgeführt werden kann, ſo zeigt ſich, daß bei gewiſſen Stellungen der Kugel der Nordpol, bei andern der Südpol der Nadel angezogen wird. Um ſogleich die Regel zu überſehen, denken Sie ſich auf jenem Tiſche eine Linie durch den Mittelpunkt der Nadel ſenkrecht gegen ihre Richtung, alſo nach dem magnetiſchen Oſt und Weſt,

gezogen und legen Sie durch dieſe Linie eine geneigte Ebene, die ſich nordwärts unter einem Winkel von 23° geneigt [1] erhebt, ſo haben Sie die Ebene des magnetiſchen Aequators, die Ebene ſenkrecht auf die Neigungslinie des Magnets. So lange nun die eiſerne Kugel ſich oberhalb dieſer Ebene befindet, wird der Südpol der Nadel gegen ſie angezogen; befindet ſich der Mittelpunkt der Kugel in dieſer Ebene, ſo iſt keine Anziehung merklich; ſenkt man die Kugel unter dieſe Ebene, ſo wird der Nordpol gegen ſie angezogen. Dieſe Erſcheinungen finden bei weichem Eiſen unbedingt ſtatt, wenn die Eiſenmaſſe nicht in allzu große Nähe zu einem Pole der Nadel heran kömmt. Bei einem auch nur wenig verſtahlten und gehärteten Eiſen iſt dagegen ein ſo beſtimmtes Hervorgehen des der Lage entſprechenden magnetiſchen Zuſtandes unſicher, und es iſt überdieß leicht der Fall, daß der angewandte Körper ſelbſt etwas magnetiſch iſt; daher iſt Gußeiſen am beſten zu dieſem Verſuche.

Das weiche Eiſen zeigt ſich hier ſelbſt als Magnet, indem der untere Theil der Maſſe nordpolariſch wirkt, der obere ſüdpolariſch, und beide Theile in der Mitte des Körpers durch eine Ebene ſenkrecht auf die Richtung der Neigungsnadel getrennt werden. Jeder eiſerne Ofen bietet Gelegenheit dar, ſelbſt den Verſuch anzuſtellen, am beſten, wenn er eine Seite hat, die nicht zu weit von der Richtung des magnetiſchen Meridians abweicht. **ABCD** ſey dieſe Ebene (**XIV. Fig. 44**), ich will annehmen, die Oſtſeite des Ofens, **D** in Norden, **B** in Süden. Nähert man nun aus der Ferne eine Magnetnadel horizontal gegen **D**, ſo wird der Südpol ſtark angezogen; geht man nach **A** fort, ſo dreht ſich die Nadel und der Nordpol wird angezogen; etwas Aehnliches findet in allen obern und untern Punkten ſtatt; aber wenn man die Nadel gegen die Mitte **E** zuführt und von da unter 23° geneigt nach **F** oder **G**, ſo zeigt die Eiſenmaſſe keine Einwirkung. Da man bei einer feſtſtehenden Maſſe an zufällige Magnetiſirung denken könnte, ſo iſt es beſſer, den Verſuch mit kleineren Maſſen zu wiederholen, wo ſich zeigt, daß der obere Theil immer ſüdpolariſch wirkt, der untere nordpolariſch, welcher Theil der Maſſe auch die obere Stelle einnehme. Bedient man ſich eines eiſernen Lineals oder einer eiſernen Stange, ſo muß man (weil dieſe leicht durch Härtung fähig geworden ſeyn können, ſelbſt auf dauernde Weiſe magnetiſch zu werden) ſich vorher überzeugen, daß beide Enden ganz gleich wirken; iſt das der Fall oder iſt auch das Lineal vollkommen ungehärtet, ſo läßt ſich der Verſuch bequem ſo zeigen. Man legt das eine Ende des Lineals mit der ſcharfen Kante an den Oſtpunkt des Käſtchens, worin die Magnetnadel ſich befindet, und richtet das Lineal vertical aufwärts, dann wird der Südpol der Nadel angezogen; man neigt den obern Theil nach Norden hin, immer mehr und mehr herab, ſo nimmt dieſe Ablenkung der Nadel ab, und wird Null, wenn das Lineal 23° gegen den Horizont geneigt iſt; kömmt es unter dieſe Neigung, ſo fängt der Nordpol an, ſich dem Eiſen zu nähern, obgleich noch immer derſelbe Punkt des Lineals an dem Käſtchen anliegt; dieſes Ende zeigt ſich alſo

[1] 23° für unſere Gegenden, etwa 20° in London.

bald als Südpol, bald als Nordpol, bloß nach der Lage des ganzen Eiſenſtabes wechſelnd. Das weiche Eiſen iſt mithin unter der Einwirkung der Erde in ſeinem untern Theile ebenſo nordpolariſch, wie es der untere Theil der Neigungsnadel iſt; aber die Eigenſchaft des weichen Eiſens, den unter Einwirkung eines Magnetes entſtandenen magnetiſchen Zuſtand ſogleich wieder zu verlieren, zeigt ſich auch hier bei der Aenderung der Lage.

Barlow ſtellte ſeine Verſuche zunächſt zum Nutzen der Schifffahrt an, und dachte daher auf Mittel, wie man dieſe unrichtige Ablenkung der Nadel im Schiffe corrigiren könne. Offenbar waren es die bei der jetzigen Einrichtung der Schiffe zahlreichen und großen Eiſenmaſſen, die, jetzt mehr als ehemals, dieſe Ablenkungen bewirkten, und dieſe Einwirkung iſt ſo ſtark, daß ſie ſelbſt in den engliſchen Häfen über 10°, in den nördlichen Gegenden aber mehr als 40° Ablenkung bewirken kann. Man überzeugt ſich von dieſer Einwirkung, wenn man auf dem im Hafen liegenden, mit dem Steuer nach Norden gekehrten Schiffe nach einem Gegenſtande viſirt und den Richtungswinkel mit der Magnetnadel beſtimmt, hierauf aber das Schiff um 90° nach der einen und um 90° nach der andern Richtung wenden läßt; dann ändert die Nadel ihre Stellung und jener Richtungswinkel wird bei jeder Lage des Schiffes anders gefunden. Daß dieſe Unſicherheit, ob man nach Norden oder nach Nord-Oſten ſteuert, nicht gleichgültig iſt, brauche ich nicht erſt zu bemerken. Barlow überlegte nun, daß eine nahe, wenn gleich kleinere Maſſe die Einwirkung jener großen Maſſen ausgleichen könne, und erfand daher ſeine Correctionsplatte, deren richtige Stellung man, ehe das Schiff den Hafen verläßt, durch Verſuche beſtimmt. Dieſe Eiſenplatte wird nämlich in der Nähe der Magnetnadel, die auf dem Schiffe in der Nähe des Steuers immer an demſelben Orte bleibt, befeſtigt, und ihre feſte Stellung ſo gewählt, daß bei dem eben angegebenen Verſuche die Drehung des Schiffes keine Wirkung mehr zeigt; dann ſind, weil die großen Eiſenmaſſen im Schiffe auch ihre Lage behalten, dieſe Wirkungen für immer compenſirt. Die Erfahrung hat die Wichtigkeit dieſer nützlichen Erfindung völlig beſtätigt, indem ſelbſt in den nördlichen Gegenden die Lage der Nadel bei allen Wendungen des Schiffes nur um 3 oder 4 Grade ſchwankte, wenn man die Platte an ihrer Stelle ließ, obgleich Schwankungen von 40° eintraten, wenn man die Platte wegnahm.

Barlow hat übrigens bei Gelegenheit dieſer Verſuche mehrere wichtige Bemerkungen gemacht, von denen ich einige kurz mittheilen will. Bei der Herumführung der Eiſenmaſſe um die Magnetnadel läßt ſich bei jeder Stellung die Ablenkung der Nadel ſtreng berechnen. Sie iſt am größten, wenn die Eiſenmaſſe in Oſten oder Weſten ſteht und die Richtungslinie zu ihr hin um 45° gegen den magnetiſchen Aequator geneigt iſt. Die Ablenkungen verhalten ſich bei nicht zu großen Ablenkungswinkeln umgekehrt wie die Cubi der Entfernungen. (Iſt bei dem Abſtande = 1 die Ablenkung = 10°, ſo iſt ſie bei der doppelten Entfernung = $^{10}/_{8}$ Gr., bei der dreifachen = $^{10}/_{27}$ Gr. u. ſ. w.)

Endlich nehmen bei ſoliden Kugeln die Ablenkungen,[1] wenn ſie klein ſind, unter ſonſt gleichen Umſtänden wie die Maſſen zu; aber unerwartet iſt es, daß hohle Eiſenkugeln, wenn die Schale nur nicht allzu dünn war, ebenſo ſtark wirkten, als ſolide Kugeln von eben der Größe, woraus Barlow ſchließen zu dürfen glaubte, daß die magnetiſche Kraft vorzüglich nur in den äußeren Theilen wirkſam ſey; eine Folgerung, die ich weiterhin noch näher beurtheilen werde.

Aber auch Folgerungen andrer Art knüpfen ſich an dieſe Betrachtungen. Es iſt eine lange bekannte Erfahrung, daß Stangen, die nicht aus weichem Eiſen oder Stahl ſind, ſondern einige Härtung haben, wenn ſie lange vertical oder noch lieber in der Richtung der Neigungsnadel geſtanden haben und beſonders, wenn ſie in dieſer Stellung geroſtet ſind, ſich dauernd magnetiſch zeigen, wo dann allemal in unſern Gegenden das untere Ende ein Nordpol iſt. Es iſt lange bekannt, daß eine Stange von Eiſen oder Stahl, wenn ſie in der Richtung der Neigungsnadel aufgeſtellt und dann gefeilt, mit einem Hammer geſchlagen oder ſonſt in ſtarke Erſchütterung geſetzt wird, ſich ſehr bald magnetiſirt zeigt und dieſen Magnetismus längere Zeit behält, weshalb die meiſten Werkzeuge in einer Schloſſerwerkſtatt magnetiſch ſind. Genauere Unterſuchungen haben gelehrt, daß man dieſe Hervorbringung eines magnetiſchen Zuſtandes vermeidet, wenn man die noch völlig unmagnetiſche Stange in der Ebene des magnetiſchen Aequators, das heißt, ſenkrecht auf die Richtung der Neigungsnadel, befeſtigt, und daß man ſie dann hämmern und feilen darf, ohne daß ſie magnetiſch wird; ja ſogar, daß die ſchon magnetiſche Stange, zumal wenn ſie von ſchwacher Härtung iſt, ihre Polarität verliert, wenn man ſie, in dieſer Richtung gehalten, in Erſchütterung ſetzt. Hierin liegt daher ein Mittel, den ſo leicht in ſchwachem Grade hervortretenden Magnetismus aufzuheben, indeß hält dieß bei ſtärker gehärtetem Stahle ſchwer, weil dieſer die einmal erlangte magnetiſche Kraft ſehr feſt hält, ſtatt daß der völlig weiche Stahl, ſowie weiches Eiſen, durchaus keinen dauernden Magnetismus erhält, ſondern nur theils unter dem Einfluſſe der Erde den eben vorhin erwähnten Magnetismus nach der jedesmaligen Lage annimmt und ſogleich wieder verliert, theils in der Nähe eines Magnetes in dem Punkte, welcher dem einen Pole deſſelben nahe genug iſt, die entgegengeſetzte Polarität annimmt. Die Fälle, wo man in älteren Verſuchen mittelſt eines durch die Nadel gehenden electriſchen Schlages dieſe magnetiſch machte, beruhten auch nur hierauf, indem ein ganz gleicher Schlag die Nadel unmagnetiſch läßt, wenn ſie ſich im magnetiſchen Aequator befindet. Dieß alles kömmt darauf hinaus, daß auch die Stahltheilchen diejenige Dispoſition, diejenige Aenderung der Lage oder worin es ſonſt beſtehe, unter dem Einfluſſe der magnetiſchen Kraft der Erde anzunehmen geneigt ſind, die erforderlich iſt, um den Stahl zum Magnet zu machen, daß dieß bei jeder Erſchütterung leichter eintritt, aber offenbar auf keine merkliche Weiſe eintreten kann, wenn die Stange im magnetiſchen Aequator iſt, weil

[1] Eigentlich die trigonom. Tangenten der Ablenkungswinkel.

da die kleinen Magnete, die wir uns als aus den Theilchen des Eiſens gebildet vorſtellen, ihre Pole quer gegen die Richtung der Stangen wenden, alſo von keiner erheblichen Wirkſamkeit werden.

Scoresby gründet hierauf einen Rath, wie man nach dem Verluſte der Magnetnadel, wenn man nur Meſſer oder andern Stahl bei ſich hat, ſich einen Magnet, alſo auch eine Magnetnadel, verſchaffen kann. Man ſtellt den Stahlſtab in die doch ungefähr bekannte Richtung der magnetiſchen Neigung und macht ihn durch Schläge magnetiſch; kann man ihn dabei auf eine Maſſe weiches Eiſen aufſetzen, ſo iſt es noch beſſer, und wenn man ſo mehrere Magnete erhalten hat, kann man ſie durch gegenſeitiges Beſtreichen ſtärken.

Einfluß der Wärme auf den Magnet.

Schon Canton beobachtete, daß die Erwärmung die Kraft des Magnetes ſchwächt. Brachte er zwei Magnete in die Nähe einer Magnetnadel und beobachtete die Stellung, in welcher ſie zur Ruhe kam, ſo folgte ſie, ſobald man den einen erwärmte, mehr der Anziehung oder Abſtoßung des andern; der wärmere war alſo ſchwächer geworden. Eben dieß ergiebt ſich, wenn man die Oſcillationen einer mehr oder minder erwärmten Magnetnadel, die bloß der natürlichen Kraft des Erdmagnetismus unterworfen iſt, beobachtet; ſie oſcillirt langſamer, wenn ſie warm iſt. Kupfer fand, daß mit jedem Grade der Wärme die Kraft gleichmäßig abnahm, aber bei der Abkühlung ſich nicht in demſelben Grade, wie vorher, wieder erneuerte.

Bei der Weißglühhitze verliert ein magnetiſirter Stahlſtab alle Kraft und erlangt ſie auch nach dem Abkühlen nicht wieder, wenn man ihn dann ungehärtet läßt. Wird der Stahl abgelöſcht, ſo muß er dabei in einer mit dem magnetiſchen Aequator übereinſtimmenden Lage ſeyn, wenn er nicht ſchon hiedurch wieder etwas magnetiſch werden ſoll. Auf dieſen Umſtänden beruht die Schwierigkeit, eine zur Neigungsnadel beſtimmte Stahlnadel völlig zu bearbeiten und ſie doch ſo lange, bis ſie genau äquilibrirt iſt, von allem Magnetismus frei zu erhalten. Aber nicht bloß dieſe Wirkung hat das Glühen, ſondern im Zuſtande des Weißglühens iſt zugleich das Eiſen ohne Wirkſamkeit auf den Magnet, und dieſes iſt um ſo merkwürdiger, da ein weicher Eiſenſtab ſich bei einer nur bis zum Rothglühen ſteigenden Hitze als den Wirkungen des Erdmagnetismus ſtärker unterworfen zeigt. Seebeck, der dieſes ſehr genau unterſucht hat, fand eine vertical gehaltene weißglühende Eiſenſtange ohne alle Wirkung auf die Magnetnadel; aber als nahe an der Stelle, wo die Stange in der Mitte mit der Zange gehalten wurde, die Abkühlung anfing, zeigte ſich der untere Theil des kurzen abgekühlten Stückes nordpolariſch, das obere ſüdpolariſch; bei fortgehender Abkühlung rückten die Pole gegen die Enden zu, und erreichten das Ende, als das dunkelrothe Glühen nur noch ſchwach am Tageslichte ſichtbar war. Dieſe polariſche Wirkung der beiden Hälften des Eiſens war, nachdem es in verticaler Stellung gehalten ſich abgekühlt hatte, ſtärker als vor dem Glühen.

Dieſe Verſuche zeigen, daß die Dispoſition der einzelnen Theilchen zur Erlangung der Polarität unter dem Einfluß der Erde größer iſt während ſolcher Erhitzung, die das Rothglühen nicht überſteigt, daß aber die Weißglühhitze, vielleicht weil ſie das Metall dem flüſſigen Zuſtande näher bringt, dieſe Anordnung der Theilchen nicht mehr geſtattet.

Nach den Unterſuchungen von Rieß und Moſer hat man eine bleibende und eine vorübergehende Wirkung der Wärme auf den Magnetismus zu unterſcheiden; jene hängt von dem Stoffe des magnetiſchen Körpers ab und iſt im Eiſen anders als im Stahl u. ſ. w.; die letztere hängt nur von der Stärke des Magnetismus ab. Bei weichem Eiſen giebt es keine bleibende Einwirkung der Wärme wie beim Stahl, mithin wird durch Wärme die Empfänglichkeit des Eiſens für Magnetismus erhöht. Nach Weber's genauen Beobachtungen befolgen die Aenderungen des Magnetismus durch Wärme 1) bei ſteigender Temperatur ein anderes Geſetz, als bei ſinkender; 2) ſie ſind bei ſtärkerem Magnetismus weit geringer als bei ſchwachem; 3) ſie treten nicht augenblicklich in ihrer vollen Größe ein.

Daß man wegen dieſes Einfluſſes, der auch bei geringern Wärmegraden ſchon ſehr merklich iſt, Verſuche über die Intenſität der magnetiſchen Kraft der Erde nicht ohne Rückſicht auf die Temperatur der Nadel, deren Oſcillationen man beobachtet, anſtellen darf, läßt ſich leicht überſehen. Barlocci's Beobachtung, daß ein künſtlicher Magnet, nachdem er dem Sonnenlichte ausgeſetzt geweſen, mehr Gewicht trage, bedarf noch mehrſeitiger Prüfung. Daß man die magnetiſche Kraft der Erde als auf gleiche Weiſe von der Wärme abhängig angeſehen und daraus die täglichen Aenderungen der Richtung der Magnetnadel erklärt hat, iſt ſchon angeführt worden.[1]

Das Nordlicht.

Ich habe vorhin die Nordlichter, als Störungen der Magnetnadel hervorbringend, erwähnt, und muß daher bei dieſer glänzenden Naturerſcheinung noch etwas länger verweilen. Schon bei einer andern Gelegenheit hätte ich das Nordlicht erwähnen können, nämlich bei dem mit ſo mildem, farbigem Lichte ſich darſtellenden Uebergange der Electricität durch den luftleeren Raum, indem man die Erſcheinungen dieſes Lichtes nicht mit Unrecht den Erſcheinungen des Nordlichtes ähnlich gefunden hat.

Das Nordlicht, das ſich in den Polargegenden häufiger als bei uns zeigt, iſt eine bald mit weißem, bald mit rothem, zuweilen auch mit violettem und grünem Lichte den Himmel erhellende Erſcheinung. In den nördlichen Gegenden

[1] Hier müßte wohl auch die von Morichini entdeckte angebliche Magnetiſirung durch den violetten Lichtſtrahl am beſten ihren Platz finden; aber die Verſuche darüber ſcheinen noch allzu zweifelhaft, um davon zu reden. Während nämlich einerſeits Ridolfi, Carpi, Davy, Playfair und in der neueſten Zeit Lady Sommerville und Zantedeſchi die Verſuche Morichini's beſtätigt fanden, erhielten Configliachi, Berard und neuerdings Pouillet, Rieß und Moſer bei ihren mit größter Sorgfalt angeordneten Verſuchen ein entgegengeſetztes Reſultat, wornach es wahrſcheinlich wird, daß der angenommene Einfluß des Sonnenlichtes nur auf den angewandten Prüfungsmethoden beruht. Für entſchieden kann die Sache aber noch nicht gehalten werden. (M.)

hat man es zuweilen mit einem Geräuſche verbunden beobachtet; in unſern Gegenden iſt es dagegen ganz ohne Laut. Die Lichterſcheinungen, welche es darbietet, ſind ſehr verſchieden, indem zuweilen der nördliche Himmel ſich bloß wie von einer Dämmerung erhellt zeigt, zuweilen ganze Theile des Himmels mit einem weißen oder farbigen Lichte plötzlich bedeckt ſind, ohne daß man ein ſtrahlenartiges Fortſchießen dieſes Lichtes wahrnimmt, zuweilen dagegen Lichtſäulen, wie in Strahlenſchüſſen, ſich ſchnell fortzubewegen ſcheinen. Jene ruhig und oft plötzlich entſtehenden Lichtflecke, die oft ganze Sternbilder überdecken, ohne ihre Sterne unſichtbar zu machen, dauern zuweilen eine geraume Zeit, werden allmählig dunkler und verſchwinden, ohne ihren Ort zu verändern; zuweilen entſtehen ſie ohne kenntliche Ordnung bald in einer, bald in einer andern Gegend, zuweilen treten zwiſchen ihnen ſchmale Lichtſäulen hervor, zuweilen aber bilden ſie einen unterbrochenen und zu andern Zeiten auch einen vollſtändigen Bogen. Die Strahlenſchüſſe dagegen gehen, wenn ſie recht vollſtändig ſind, als zahlreiche, ſich oft erneuernde feurige Säulen hervor, die ſich in einem nicht weit vom Zenith liegenden Punkte zu vereinigen ſcheinen und dort das, was man eine Krone genannt hat, einen Vereinigungspunkt aller dieſer leuchtenden Bogen, bilden. Oefter als dieſe letzte Erſcheinung hat man einen oder mehrere vollſtändige Lichtbogen geſehen, die ſich von Norden gegen das Zenith herauf bewegen, ſo daß ſie ihrer ganzen Ausdehnung nach parallel fortzurücken ſcheinen; gewöhnlich iſt dann das unter dieſen Bogen liegende Segment des Himmels von dunkler Färbung, ſo daß man es für bewölkt halten würde, wenn nicht doch die Sterne in dieſem Dunkel ſichtbar blieben.

Ueber die Höhe des Nordlichts giebt es ſehr verſchiedene Angaben. Da man zuweilen Nordlichter, die im mittlern Europa das Zenith erreichten, in Italien noch bedeutend hoch über dem Horizonte ſah, ſo erhellt, daß ſie in großen Höhen vorkommen können; aber in andern Fällen ſind ſie gewiß in ſehr niedrigen Regionen. Daß wir jetzt ſelten in unſern Gegenden Nordlichter ſehen, ſcheint nicht daran zu liegen, daß ſie wirklich ſelten ſind, ſondern daran, daß ſie jetzt nur ſelten die Höhe und Ausdehnung erreichen, wie es zu andern Zeiten der Fall geweſen iſt. Franklin und Hood haben bei ihrem Winteraufenthalte im nördlichſten America vom Auguſt 1820 bis Mai 1821 140 Nordlichter geſehen, aber mehrere derſelben waren nicht über 1½ Meilen von der Erde, indem der eine Beobachter den Lichtbogen 10 Grad hoch ſah, während dem andern, nur 11 Meilen entfernten, Beobachter nichts davon ſichtbar wurde, ſo daß die Dünſte am Horizonte ihn ſchon verdecken mußten. Dieſe, dort noch immer häufigen Nordlichter ſcheinen auch keine große Ausdehnung zu haben, ſtatt daß in den ſiebziger und achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts Nordlichter gleichzeitig in Europa und Nordamerica geſehen wurden[1] und einzelne Tage vorkamen, die zugleich durch Südlichter in Südamerica und

[1] Namentlich 1783 am 29. März, 7., 12. und 27. April. S. meine Beitr. z. Witterungskunde S. 29. 115. 270.

durch Nordlichter in Europa und Nordamerica ausgezeichnet waren.[1] Die Bemühungen, die Höhe der Nordlichter zu beſtimmen, haben darum nicht immer ſichern Erfolg gegeben, weil es ſo ſchwer iſt, ſich zu überzeugen, daß zwei Beobachter einen und denſelben leuchtenden Punkt beobachtet haben; deshalb ſind die frühern Beſtimmungen, daß Nordlichter über 100 Meilen hoch geweſen ſind, zwar nicht geradezu zu verwerfen, aber doch unſicher. Unter neuern Beobachtern haben in England Dalton und Farquharſon Höhenbeſtimmungen verſucht. Der erſtere giebt aus gleichzeitigen Beobachtungen die Höhe mehrerer Nordlichtbogen auf 100 engliſche, alſo über 20 deutſche Meilen an. Der andre glaubt, gewöhnlich gebe es mehrere Nordlichtbogen zugleich und den Berechnungen ſey wegen der Verwechſelung der verſchiedenen Bogen nicht zu trauen; das Nordlicht ſtehe aber mit Wolken, die nicht viel über 2000 Fuß hoch ſeyn möchten, in Verbindung, und die ganzen Nordlichtſtröme möchten ſich wohl nur einige tauſend Fuß höher hinauf erſtrecken — eine Behauptung, die mir doch keineswegs auf alle Nordlichter zu paſſen ſcheint.

Doch es iſt hier nicht der Ort, hiebei zu verweilen, und ebenſo laſſe ich auch die Frage, warum die Nordlichter zu manchen Zeiten häufig und zu andern Zeiten ſelten in unſern Gegenden geweſen ſind, bei Seite, um nur von dem zu reden, was wir über ihre Natur vermuthen und über ihre Wirkungen beobachten. Ob ſie electriſch ſind, iſt ungewiß, da ſie in unſern Gegenden keine electriſche Wirkung zeigen und auch die von Franklin in Nordamerica angeſtellten Beobachtungen wohl nicht entſcheidend genug ſind. Deſto ſicherer aber iſt ihre magnetiſche Wirkung. Schon Hiorter hat vor ſechzig Jahren bemerkt, daß die Magnetnadel gewöhnlich bei einem Nordlichte ihre Richtung ändert, und dieſe Beobachtung iſt neuerlich von vielen Seiten her beſtätigt worden, ja Arago hat durch eine bedeutende Anzahl ſeiner in Paris angeſtellten Beobachtungen gezeigt, daß die Magnetnadel an den Tagen ſich unregelmäßig verändert hatte, wo in ſehr entfernten Gegenden Nordlichter beobachtet worden waren.[2] Hanſteen bemerkt, daß die Magnetnadel ſchon vor dem Nordlichte unruhig wird und zuweilen bis 5° von ihrer Richtung abweicht, daß die Intenſität der magnetiſchen Kraft vor dem Nordlichte größer iſt und während deſſelben wieder abnimmt. Die Magnetnadel ſcheint dann am meiſten unruhig zu ſeyn, wenn auch die Nordlichtſtrahlen nicht immer gleiche Richtung behalten.

Zu dieſen Beobachtungen kömmt nun noch die Bemerkung, daß die Nordlichtbogen faſt genau im magnetiſchen Norden ihre Mitte haben und daß die Lichtſäulen des Nordlichtes mit der Neigungsnadel parallel liegen. Die Nordlichtbogen ſcheinen aus kurzen parallelen Säulen zu beſtehen, und daher kömmt es, wie Farquharſon bemerkt, daß ſie nahe am Zenith weniger breit erſcheinen, weil man da die Säulen nicht ihrer ganzen Länge nach ſieht, ſondern die Geſichtslinie ungefähr ihrer Axe parallel iſt. Sie müſſen alſo aus einer

[1] Namentlich 1783 am 27. Apr. und 22. Oct.

[2] Brewſters Einwürfe zeigen nur, daß nicht in allen Fällen das Nordlicht ſo einwirkt.

langen, auf den magnetiſchen Meridian ungefähr ſenkrechten Reihe ſolcher Lichtſäulen beſtehen, und dieſe ganze Reihe rückt, oft mit großer Regelmäßigkeit, ſüdwärts, behält auch zuweilen längere Zeit genau dieſelbe Stellung, wo ſich dann die von Dalton benutzte Gelegenheit findet, ihre Höhe über der Erde zu beſtimmen. In den Gegenden, wo die Magnetnadel mit ihrem Nordpole nach Süden gerichtet iſt, nämlich nördlich vom magnetiſchen Nordpole der Erde, ſieht man auch die Nordlichter am ſüdlichen Himmel. Und nicht bloß die neuern Beobachtungen zeigen, daß die Mitte dieſes Bogens in der Richtung des magnetiſchen Meridians liegt, ſondern Biot beweiſt aus den Angaben älterer Beobachter, daß dieſe die Mitte der Nordlichtbogen im genauen Norden ſahen, als die Magnetnadel keine Abweichung hatte, 10 Grade von Norden entfernt, als die Abweichung 10° betrug u. ſ. w. Dalton hat zuerſt darauf aufmerkſam gemacht, daß diejenigen Nordlichter, welche ein Zuſammentreffen der Strahlenbogen von allen Seiten her in der Nähe des Zeniths zeigten, dieſen Vereinigungspunkt, die Nordlichtskrone, allemal ſo weit ſüdlich vom Zenith hatten, als es die Richtung der Neigungsnadel fordert. Er knüpft hieran und an ſeine übrigen Beobachtungen den Schluß, daß die Nordlichtſtrahlen, wenn ſie nicht in großen ungeordneten Maſſen erſcheinen, der Neigungsnadel oder der Richtung der magnetiſchen Kraft in der Gegend, wo ſie entſtehen, parallel ſind, und alle ſpätern Beobachter ſind geneigt, dieſe Behauptung als richtig anzuſehen; Hanſteen beſtätigt ſie ausdrücklich durch eigene und fremde Beobachtungen.

Der eigentliche Hauptſitz der Nordlichter ſcheint in der Nähe der magnetiſchen Pole der Erde zu ſeyn, indem Cook ſie in Beziehung auf den unter Neuholland liegenden Südpol ziemlich ebenſo beobachtete, wie wir die Nordlichter ſehen, indem Sibirien, wenigſtens ehemals, reich an Nordlichtern war, und am nordamericaniſchen Pole noch jetzt, nach Franklin's und Hood's Beobachtungen, ſich zahlreiche Nordlichter zeigen. Nach Hanſteen's Meinung bilden die in Europa und Nordamerica beobachteten Nordlichter Kreiſe um den in America liegenden Nordpol, und zwar in beträchtlicher Höhe; dieſe leuchtenden Bogen können ſich bis zu 40 Grad auf der Erde vom Pole ausdehnen, und Hanſteen ſucht nachzuweiſen, wie ſich aus dieſen Vorausſetzungen die Erſcheinungen an allen Orten erklären laſſen. Aehnliche Bogen ſind auf der ſüdlichen Halbkugel in der Gegend des ſüdlich von Neuholland liegenden Poles geſehen worden. Nach Hanſteen's Meinung werden die Nordlichtſtrahlen erſt außerhalb der dichtern Atmoſphäre leuchtend, ſtatt daß ſie die Atmoſphäre, ſo lange ſie in ihr fortgehen, etwas verdunkeln.

So haben wir alſo hier eine leuchtende magnetiſche Erſcheinung, die offenbar mit dem Magnetismus der Erde in Verbindung ſteht, die auf unſre Magnetnadeln ſo wirkt, wie es magnetiſche Säulen in großer Entfernung thun könnten, deren eigentliche Natur aber uns noch ſehr räthſelhaft iſt.

Fünfundſiebenzigſte Vorleſung.

Poiſſon's Theorie der magnetiſchen Erſcheinungen.

Obgleich wir, wie wir in der Folge ſehen werden, in den electromagnetiſchen Erſcheinungen Veranlaſſung finden, die Theorie des Magnetismus mit der Theorie der Electricität in Verbindung zu ſetzen, ſo kann ich doch nicht unterlaſſen, auch hier ſchon einen Verſuch zu einer, die bisher angegebenen Erſcheinungen umfaſſenden Theorie, die freilich mancher Modificationen bedürfte, um ſich an die ſpäter anzuführenden Erſcheinungen anzuknüpfen, mitzutheilen. Poiſſon hat eine ſolche Theorie am meiſten ausgeführt und ſie theils auf bekannte Verſuche, theils auf mathematiſche Beſtimmungen gegründet.

Daß er wegen der großen Uebereinſtimmung mit der Electricität ſich veranlaßt fand, zwei magnetiſche Materien, eine nördliche und eine ſüdliche, vorauszuſetzen, iſt Ihnen gewiß nicht unerwartet. Dieſe Materien wirken eine auf die Theilchen der andern anziehend und die Theilchen einer jeden wirken gegenſeitig abſtoßend auf einander. Die Uebereinſtimmung, die das weiche Eiſen mit den Leitern, der harte Stahl mit den Nichtleitern der Electricität zeigt, habe ich ſchon öfter erwähnt, und ebenſo die große Abweichung von dem, was die Electricität uns darbot, die nämlich darin beſteht, daß nie eine Spur von Mittheilung, von Uebergehen der magnetiſchen Materien ſtatt findet. Dieſe letztere Eigenthümlichkeit bewog ſchon Coulomb anzunehmen, daß nur in den kleinſten Theilchen (Molecülen) des Eiſens oder Stahles ſich die beiden magnetiſchen Materien trennen oder verbinden, niemals aber zu einem zweiten Theilchen übergehen. Wir können uns daher, nach Poiſſon's Anſicht, zur Erleichterung der Vorſtellung am beſten die Molecüle der der Magnetiſirung fähigen Körper als durch Zwiſchenräume getrennt denken, durch welche die magnetiſchen Materien nie hindurch gehen. Aber auch jene Molecüle ſelbſt ſind von verſchiedenartiger Natur, indem im weichen Eiſen die im gewöhnlichen Zuſtande mit einander neutraliſirten magnetiſchen Materien ſich ſogleich, faſt ohne Widerſtand, trennen, ſobald eine magnetiſche Kraft von außen auf ſie wirkt, wogegen im harten Stahle dieſe Trennung durch eine hindernde Kraft (Coercitivkraft) erſchwert wird, und ebenſo nach erfolgter Trennnng, das heißt, nachdem der Stahl magnetiſch geworden iſt, die gegenſeitige Verbindung beider Materien nicht ſo leicht wieder eintritt. Wenn man annimmt, daß jene magnetiſchen Elemente, die Molecüle nämlich, deren jedes ſeine magnetiſchen Materien nicht an das nächſte mittheilt, in dem einen Körper, dem Eiſen zum Beiſpiel, zahlreicher vorhanden ſind, als in einem andern, ſo läßt ſich die ungleiche Einwirkung erklären, welche Körper von verſchiedener Beſchaffenheit durch den Magnet erleiden und ſelbſt auch rückwirkend ausüben. Dieſe Ungleichheit der Wirkung iſt bei Eiſen und Nickel ſehr merklich, indem,

nach Gay Luſſac's Verſuchen, eine Eiſenſtange, nahe unter eine oſcillirende Magnetnadel gelegt, die Zeit einer Oſcillation auf die Hälfte, eine gleiche Nickelſtange aber dieſelbe nur auf $^3/_5$ herabſetzte. Auch die ungleiche Einwirkung des Eiſens auf den Magnet bei verſchiedener Temperatur kann wohl hiervon abhängen, wenn nämlich das Verhältniß der zwiſchen den magnetiſchen Elementen übrig bleibenden Zwiſchenräume zu dieſen Elementen ſelbſt ſich mit der Temperatur ändert. Endlich geſtattet dieſe Vorausſetzung einer ungleichen magnetiſchen Dichtigkeit (wie Poiſſon dieſes Verhältniß der dem Magnetismus unterworfenen Elemente zu dem ganzen Volumen nennt), alle Körper als einigermaßen dem Magnetismus unterworfen anzuſehen, nur mit dem Unterſchiede, daß in den uns unmagnetiſch ſcheinenden entweder die Zahl der magnetiſchen Elemente klein oder die Trennung beider Magnetismen ſchwer iſt.

Um nun eine theoretiſche Unterſuchung über die Erſcheinungen des Magnetismus anzuſtellen, mußte die Frage rechnend beantwortet werden, wie ſich bei größern Maſſen die Erſcheinungen zeigen müſſen, wenn wir, den bisher angegebenen Vorausſetzungen gemäß, annehmen, daß jedes magnetiſche Element des Körpers ſeine beiden magnetiſchen Materien, ohne etwas davon ausſtrömen zu laſſen, behält, dieſelben aber im unmagnetiſchen Zuſtande verbunden oder vermiſcht, im magnetiſchen Zuſtande zum Theil ſo getrennt enthält, daß die nordmagnetiſche Materie am einen, die ſüdmagnetiſche am andern Ende vorwaltend vorhanden iſt. Es läßt ſich leicht überſehen, daß wir nach Anleitung der Erſcheinungen annehmen müſſen, daß dieſe Zerſetzung, die Trennung der beiden magnetiſchen Materien, unter der Einwirkung eines Magnetes und ſo auch unter derjenigen der Erde ſelbſt, in geringem Grade ſtatt finde bei ſchwacher, in ſtärkerm Grade bei ſtarker Einwirkung, daß aber ſelbſt bei den ſtärkſten Einwirkungen, die wir kennen, noch immer ein großer Theil unzerſetzter magnetiſcher Materie übrig bleibe, indem wir allen Grund haben zu glauben, daß bei allen unſern Verſuchen die Grenze noch lange nicht erreicht wird.

Wenn man nun die Einwirkung aller magnetiſchen Kräfte auf einen beſtimmten, innerhalb oder außerhalb des magnetiſchen Körpers liegenden Punkt angeben will, ſo muß man die beiden Fälle unterſcheiden, wo die Trennung der beiden magnetiſchen Fluida dieſes Punktes mit Leichtigkeit ſtatt findet, oder wo im Gegentheil eine hindernde Kraft ſich dieſer Trennung widerſetzt. Im erſten Falle müſſen, ſobald der ſich ſchnell einſtellende bleibende magnetiſche Zuſtand eingetreten iſt, die ſämmtlichen auf einen Punkt des der Magnetiſirung fähigen Körpers wirkenden Kräfte ſich gegenſeitig gänzlich aufheben; denn ſo lange dieß nicht der Fall iſt, würde die Zerſetzung der beiden vereinigten Materien immer noch einen höhern Grad erreichen. Dagegen wenn eine Coercitivkraft ſich der Trennung der magnetiſchen Materien widerſetzt, ſo kann das Gleichgewicht in mehreren Fällen eintreten, nämlich immer, wenn die auf dieſen Punkt wirkenden Kräfte die widerſtehende Kraft nur nicht übertreffen. Da aber der erſtere Fall der leichtere iſt, ſo verweilt Poiſſon

einzig bei demſelben und zeigt, daß für dieſe unter Einfluß magnetiſcher Körper ſelbſt ſogleich magnetiſch werdenden Körper das Gleichgewicht der magnetiſchen Materien ſo bedingt iſt, daß, obgleich jedes einzelne magnetiſche Element ſeine magnetiſchen Materien nicht entweichen läßt, ſondern ſie polariſch getrennt auf ſeiner Oberfläche behält, dennoch die Geſammtwirkung auf jeden innerhalb des Körpers liegenden Punkt ſich gänzlich aufhebt, auf jeden außerhalb liegenden Punkt aber ſo iſt, als wäre der ganze Körper mit einer dünnen Schicht beider magnetiſcher Flüſſigkeiten und zwar in getrenntem Zuſtande bedeckt.

Dieſe aus der Theorie fließende Folgerung iſt unſtreitig merkwürdig, da ſie ſich an mehrere Beobachtungen und vorzüglich an eine von Barlow gemachte Erfahrung anſchließt. Ich habe ſchon bei einer andern Gelegenheit erwähnt, daß Barlow die Wirkung hohler Eiſenkugeln auf die Magnetnadel faſt genau ebenſo groß fand, als die Wirkung ebenſo großer ſolider Eiſenkugeln. Poiſſon zeigt, daß man hieraus mit Unrecht ſchließen würde, die magnetiſchen Materien begäben ſich auf die Oberfläche der Kugel, ſondern die auf die angegebene Weiſe den einzelnen Elementen eigen bleibenden magnetiſchen Materien üben eine gemeinſchaftliche Wirkung aus, die ſich faſt ganz ſo verhält, als wenn bloß eine Schicht auf der Oberfläche wirkſam wäre, und dieß iſt um ſo mehr der Fall, je weniger der Raum, den die magnetiſchen Elemente einnehmen, von dem ganzen Volumen des Körpers verſchieden iſt. Bei Barlow's Verſuchen betrug die Einwirkung der hohlen Eiſenkugeln zwar faſt ebenſo viel als die der ebenſo großen ſoliden Eiſenkugeln, ſo lange die Schale nicht allzu dünn wurde, aber die Ablenkung der Magnetnadel ging doch auf zwei Drittel herab, als die Dicke der Kugelſchale nur $\frac{1}{30}$ Zoll betrug. Nach Poiſſons theoretiſchen Beſtimmungen müßte es ſich faſt genau ſo verhalten, wenn die magnetiſche Dichtigkeit in dem vorhin angeführten Sinne $\frac{49}{50}$ betrüge, und ſo müßten wir hiernach die Beſchaffenheit des Eiſens anſehen.

Dieſes ſind die einzigen Sätze, die ich aus Poiſſon's Theorie mitzutheilen im Stande bin. Die ganze Entwickelung dieſer Theorie hat mehr Schwierigkeit als die ſonſt in mancher Hinſicht ähnliche Theorie der electriſchen Erſcheinungen, und auch die hypothetiſchen Vorausſetzungen ſcheinen weder ſo überzeugend noch ſo einfach; indeß iſt es immer wichtig, auf ſtreng mathematiſchem Wege zu zeigen, daß dieſe Hypotheſe, der durch Einfluß magnetiſch gewordene Körper ſey in ſeiner Wirkung mit einer unendlichen Menge kleiner polariſcher Nadeln übereinſtimmend, nicht gegen die Erfahrung ſtreitet. Wären nicht die Verſuche über die Einwirkung einer Eiſenkugel auf die Magnetnadel darum ſo ſchwierig, weil die Rückwirkung der Magnetnadel auf die zur Ablenkung derſelben wirkſame Kugel unvermeidlich iſt, ſtatt daß die Formeln am liebſten dieſe Rückwirkung ganz bei Seite ſetzen, ſo ließe ſich manche Prüfung der Theorie durch Anwendung hohler und ſolider Kugeln, die weniger Eiſen in ihrer Miſchung enthielten, in Vorſchlag bringen, und die hohlen Kugeln müßten in ihrer Wirkung um ſo mehr von den ſoliden abweichen, je mehr unmagnetiſche Theile mit dem Eiſen gemiſcht wären.

Magnetiſche Einwirkung anderer Körper im Zuſtande der Ruhe.

Um die Frage zu entſcheiden, ob außer den als magnetiſch anerkannten Körpern nicht auch andre einige Wirkung auf die Magnetnadel zeigen, hat Coulomb eine Menge von Verſuchen angeſtellt. Er ließ Nadeln von 3 bis 4 Lin. Länge aus andern Metallen und ſelbſt aus Holz an den feinſten Seidenfäden zwiſchen den Polen zweier ſtarker Magnete hängen, und fand nicht nur, daß ſie vorzugsweiſe die Richtung gegen die Magnete zu annahmen, ſondern daß ſie auch durch ſchnelleres Oſcilliren unter der Einwirkung der Magnete zeigten, daß ſie nicht ganz gleichgültig in Beziehung auf die magnetiſche Kraft waren.

Um zu entſcheiden, ob vielleicht eine unmerklich geringe Quantität Eiſen in der Miſchung dieſer Körper die Wirkung hervorbringe, verfertigte Coulomb Nadeln aus einer Miſchung von Wachs und Eiſenfeile und fand, daß die Kraft, mit welcher ſie vom Magnete angezogen wurden, der Menge von Eiſen proportional war. Da ſich nun die Wirkung des Magnets auf chemiſch reines Silber 415mal ſchwächer fand, als wenn dem Silber abſichtlich $^1/_{320}$ an Eiſen beigemiſcht war, ſo ſchloß Coulomb, daß jenes reine Silber ſo wirke, als ob der 132800ſte Theil an Eiſen beigemiſcht wäre, und es blieb daher unentſchieden, ob ſo geringe Beimiſchungen von Eiſen unſern chemiſchen Unterſuchungen entgehen, oder ob das Silber als abſolut rein dennoch dieſe geringe Wirkung ausübt.

Ein viel neuerer Verſuch von Muncke machte darauf aufmerkſam, daß längere Nadeln ab (XIV. Fig. 45) aus einem, nur wenig Eiſen enthaltenden Meſſingdrahte ſich zwar in die Richtung eines unter ihnen liegenden Magnetes NS ſtellen, wenn oberhalb ein zweiter Magnet ns ſeinen Nordpol n über dem Südpole S des andern Magnetes hat, daß dagegen die Nadel ab eine ſchiefe Stellung gegen beide Magnete annimmt, wenn n ſowohl als S ein Südpol oder ein Nordpol iſt. Seebeck wiederholte dieſen Verſuch auch mit andern Metallmiſchungen, in denen ſich einige Procente Eiſen befanden, und fand den Erfolg immer übereinſtimmend. Auch wenn die Lage der Nadel zwiſchen den Magneten ſo war, wie Fig. 46 angiebt, wo SN, sn zwei mit gleichnamigen Polen über einander liegende Magnete ſind, zwiſchen welchen die Nadel ſich aufgehängt befindet, trat eine eben ſolche Stellung, abweichend von der Richtung der Magnete, ein. Um dieſe Sonderbarkeit aufzuklären, wandte Seebeck Röhren mit Eiſenfeile gefüllt an, und auch dieſe, ebenſo aufgehängt, kamen zwiſchen den beiden Magneten in einer ihnen parallelen Richtung zur Ruhe, wenn die oberhalb und unterhalb liegenden Pole von entgegengeſetzter Art waren, dagegen in einer ſeitwärts abweichenden Richtung, wenn die über einander liegenden Pole gleichnamig waren. Seebeck erkannte hierin eine Eigenthümlichkeit der Einwirkung der Magnete auf zertheilte Eiſenpartikelchen, und überzeugte ſich von dieſer durch einen andern Verſuch. Wenn man das eine Ende eines Eiſenſtabes mit einem Magnete in Berührung bringt, ſo iſt,

wie Sie wiſſen, bis zu bedeutenden Längen des Stabes das andere Ende deſſelben magnetiſch; aber wenn man das eine Ende einer mit Eiſenfeile gefüllten Glasröhre mit einem ſtarken Magnete in Berührung bringt, ſo zeigt ſchon bei ſehr mäßiger Länge der Eiſenfeilſäule dieſe am andern Ende gar keine von jener Berührung abhängende, polariſche Einwirkung auf die Magnetnadel; die unter Einfluß jenes Magnetes entſtehende magnetiſche Dispoſition der Theilchen erſtreckt ſich alſo in der Eiſenfeile nur bis auf geringe Entfernung. Dieſe Erfahrung erklärt die oben angegebene Erſcheinung. Iſt nämlich a (Fig. 46) zwiſchen zwei ungleichen Polen, ſo hat ſich nach der Querrichtung der Nadel oder der mit Eiſenfeile gefüllten Röhre ein kurzer Magnet gebildet, oder vielmehr, ſo weit die Wirkung reicht, eine Reihe kurzer verticaler Magnete, die vom obern Magnetpole ſo gut als vom untern angezogen werden; dieſe halten alſo das Ende der Nadel zwiſchen ſich feſt. Sind dagegen die oberhalb und unterhalb liegenden Pole gleichnamig, ſo zerſtören ſie gegenſeitig die in verticaler Richtung entſtehenden Wirkungen, das heißt, die obere Seite der Nadel kann durch Einwirkung des oberhalb angebrachten Nordpols nicht ſüdpolariſch werden, wenn der untere Nordpol aus der obern Seite einen Nordpol zu machen ſtrebt; wendet ſich aber die Nadel ſeitwärts, ſo entſtehen in horizontaler Querrichtung kurze Magnete, die ihre Südpole jenen beiden Nordpolen zuwenden, und dieſe Wirkung iſt weit merklicher, weil die Zahl dieſer kleinen Magnete sn, sn, sn (Fig. 47) größer iſt, als ſie bei der Stellung ab (Fig. 48) ſeyn würde, wo nur ein ſehr beſchränkter Theil der nicht feſt verbundenen Eiſentheilchen die polariſche Einwirkung erleidet.

Einwirkung rotirender Körper auf den Magnet.

Dieſe von andern Körpern uns dargebotenen Zeichen magnetiſcher Einwirkung ließen ſich alle auf eine wahrſcheinliche Beimiſchung von Eiſen zurückführen; aber eine ziemlich unbedeutend ausſehende Erſcheinung, auf welche Arago zuerſt aufmerkſam wurde, leitete dieſen zu einer Reihe ganz neuer und wichtiger Entdeckungen. Jene geringfügig zu nennende Erſcheinung iſt folgende. Wenn man eine horizontal aufgeſtellte, ſehr leicht bewegliche und ſtark magnetiſirte Stahlnadel in große Schwingungen verſetzt, ſo dauert es lange, ehe dieſe durch einen großen Bogen gehenden Schwingungen um eine bedeutende Anzahl von Graden abnehmen; aber wenn die Nadel ſich ſehr nahe über Kupfer oder einem andern Metalle, ja auch über Waſſer oder Eis bewegt, ſo wird die Weite der Schwingungen ſtark vermindert, ohne daß die Zeit einer Oſcillation merklich abnimmt. Der Verſuch, der ſich bei jeder Wiederholung als richtig zeigt, iſt von Arago, Nobili, Seebeck u. a. mit großer Sorgfalt unter verſchieden abgeänderten Umſtänden angeſtellt worden. Arago ließ eine an einem ungedrehten Seidenfaden hängende Magnetnadel das eine Mal über einem hölzernen, das andre Mal über einem kupfernen Ringe ihre Oſcillationen vollenden; in jenem Falle machte ſie 145 Oſcillationen, in dieſem Falle 33, ehe die Weite der Oſcillationen von 90° bis auf 10° herabkam.

Kupfer zeigte ſich hier und in allen Fällen als vorzüglich ſtark einwirkend; aber daß ſelbſt Waſſer und Eis dieſe Wirkung zeigen, ergab ſich aus Arago's Verſuchen, bei welchen eine über einer ebenen horizontalen Eisfläche oſcillirende Nadel ihre Oſcillationen von 53° bis 43° verkleinerte, und zwar nach 60 Oſcillationen, als die Entfernung von des Eiſes Oberfläche 21 Lin. betrug, nach 56, 34, 26 Oſcillationen, als die Entfernung 13, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{3}$ Linie betrug. Seebeck fand 116 Schwingungen, ehe die Nadel über einer Marmorplatte von 45° weiten Oſcillationen bis zu 10° weiten kam; über einer dünnen Zinkplatte reichten 71, über einer noch dünnern Kupferplatte 62 Oſcillationen hierzu hin, und als man unter die Kupferplatte noch die Zinkplatte ſchob, 48, ja bei 4 Kupfer- und 4 Zinkplatten über einander ſchon 25 Oſcillationen. — Eiſen wirkt, wie Seebeck bemerkt, noch ſtärker ein, wogegen eine Verbindung von 4 Th. Antimon und 1 Th. Eiſen die Größe der Oſcillationen gar nicht verminderte, obgleich das Antimon allein in einigem Grade dieſe Wirkung zeigt; Antimon, Wismuth, Nickel vermindern, dem Kupfer beigemiſcht, die Einwirkung deſſelben.

Daß hier nicht etwa die mindere Beweglichkeit der Luft in der Nähe eines feſten Körpers ein Hinderniß der Bewegung ſey, läßt ſich, wenn man es vermuthen wollte, dadurch leicht zeigen, daß die Abnahme der Oſcillationen nach der Natur der Körper verſchieden iſt, ſo daß Kupfer mehr als Zink, dieſes mehr als Zinn oder Blei die Oſcillationen verkleinert; die Urſache dieſer Erſcheinung, glaubten mehrere Beobachter, laſſe ſich ſehr leicht darin finden, daß kein Körper ohne alle Einwirkung auf den Magnet ſey; auch die Kupferplatte nehme in ſchwachem Grade eine Magnetiſirung unter Einwirkung der Nadel an, und indem ſie dadurch anziehend auf dieſelbe wirke, ſtöre ſie die Oſcillation. Arago bemerkt, daß er dieſe Meinung nie geäußert habe, weil er ſogleich ſie durch Verſuche geprüft und widerlegt habe, und ferner daß die Meinung derer, die Coulomb's Verſuche über die Einwirkung des Magnets auf andre Körper hiemit zuſammenſtellen, unrichtig ſey, weil bei Coulomb's Verſuchen ſich Blei wirkſamer als Zinn, dieſes wirkſamer als Kupfer zeigte, ſtatt daß die hier angeführten Verſuche gerade das Umgekehrte geben.

Doch dieſe Verſuche führten zu größern. Kann die ruhende Kupferplatte durch ihre bloße Nähe die Bewegung der Magnetnadel hindern, ſo wird, darf man vermuthen, auch eine rotirende Kupferplatte einer Magnetnadel durch bloße Nähe eine rotirende Bewegung ertheilen können, und dieſe Vermuthung findet ſich wirklich beſtätigt. Man ſtelle die Kupferſcheibe AB (XIV. Fig. 49), der man eine ſehr ſchnelle Drehung ertheilen kann, horizontal auf und gebe der Magnetnadel CD an einem feinen ungedrehten Faden eine ſolche Lage, daß die Mitte der Nadel dem Mittelpunkte der Scheibe entſpricht, ſo wird, wenn man AB in eine ſchnelle drehende Bewegung ſetzt, die Nadel ſehr bald dieſer Rotation folgen und entweder, bei mäßiger Schnelligkeit der Drehung, in einer gewiſſen Entfernung vom Meridiane zur Ruhe kommen, oder bei ſchnellerer Drehung mehrere Umläufe vollenden, bis die gegenwirkende

Kraft des gedrehten Fadens keine weitere Drehung geſtattet. Daß nicht etwa der Luftzug über der rotirenden Scheibe dieß bewirkt, davon überzeugt man ſich leicht, indem eine zwiſchen der gedrehten Scheibe und der Magnetnadel ruhend bleibende Glasſcheibe EF die Wirkung nicht hindert, indem ferner eine unmagnetiſche Nadel ſich dieſer Wirkung nicht unterworfen zeigt und andre rotirende Scheiben nach ihrer verſchiedenen Beſchaffenheit geringere Wirkungen als Kupfer zeigen. Die letztere Verſchiedenheit iſt ſo bedeutend, daß zum Beiſpiel unter gleichem Abſtande und bei gleicher Schnelligkeit der Drehung eine Kupferſcheibe die Nadel um 55°, eine Zinkſcheibe nur um 14°, eine Bleiſcheibe nur um 8° ablenkte.

Dieſe von Arago zuerſt angeſtellten Verſuche änderten Babbage und Herſchel ab, indem ſie einen ſtarken Magnet, der beide Pole aufwärts kehrte, ſo in rotirende Bewegung ſetzten, daß dieſe Pole um einen in ihrer Mitte liegenden Punkt kreiſten, darüber aber eine an einem umgedrehten Faden hängende Metallſcheibe angebracht war. Sobald der Magnet rotirte, folgte auch die ſo aufgehängte Metallſcheibe der Drehung. Prevoſt und Colladon hingen über der rotirenden Scheibe zwei verbundene Magnetnadeln auf und fanden die Ablenkung ganz aufhörend, wenn die Nadeln mit den entgegengeſetzten Polen vereinigt neben einander lagen, wogegen die Ablenkung mehr betrug, wenn die gleichnamigen Pole vereinigt waren.

Wirkungsgeſetze dieſes Rotationsmagnetismus.

Daß dieſe Erfolge ſich wohl durch eine vorübergehende Magnetiſirung des Kupfers und der übrigen Metalle erklären ließen, war leicht zu überſehen; denn wenn der Nordpol des Magnets den unter ihm liegenden Punkt der Scheibe ſüdpolariſch macht, ſo wird beim Fortrücken des Nordpols dieſer Südpol ihm zu folgen geneigt ſeyn, wenn auch nur die kürzeſte Zeit verfließt, ehe der bei der neuen Stellung des Magnetes unter ihm liegende Punkt eine gleiche Südpolarität annimmt. Aber dieſe Meinung, die ſich allerdings durch ihre Einfachheit empfiehlt, paßt nicht auf alle Erſcheinungen. Arago nämlich, von dem ich ſchon erzählt habe, daß er dieſe Meinung widerlegte, ehe ſie von jemand ausgeſprochen war, ſtellte die richtige mathematiſche Ueberlegung an, daß da, wo eine Kraft wirkſam iſt, es nicht genüge, ihre nach einer beſtimmt vorgeſchriebenen Richtung hervorgehende Wirkung zu kennen, ſondern man müſſe Mittel ſuchen, die eigentliche wahre Richtung dieſer Kraft und daraus ihre Wirkung nach jeder Richtung zu finden. In der bewegten Kupferſcheibe erkennen wir eine Kraft, welche die Magnetnadel parallel mit der Scheibe fortführt; aber damit iſt nicht ausgemacht, daß die geſammte Wirkung der Kraft auf die parallele Richtung beſchränkt ſey, ſondern es iſt nöthig zu unterſuchen, ob vielleicht auch eine nach der Richtung des Kreisradius hervorgehende oder eine auf die Ebene des Kreiſes ſenkrechte Wirkung merklich iſt. Dieſe Unterſuchung hat Arago auf folgende Art angeſtellt.

Wenn man eine Neigungsnadel, die ſich um eine feſt mit ihr verbundene

horizontale Axe drehen kann, ſo aufſtellt, daß ſie ſich in der von Weſten nach Oſten gerichteten Verticalebene bewegt, ſo nimmt die Inclinationsnadel eine verticale Stellung an. Giebt man nun (Fig. 50) dieſer Nadel AB ihren Platz über der rotirenden Scheibe CD, ſo wird ſie, wenn irgend eine vom Mittelpunkte G abwärts oder gegen ihn hin wirkende magnetiſche Kraft in der Nähe der Scheibe merklich iſt, die verticale Stellung verlaſſen und uns die nach der Richtung des Kreishalbmeſſers wirkſame Kraft kennen lehren. Wenn dieſe Nadel ſo aufgeſtellt ward, daß ihre Drehungsebene ſenkrecht auf den magnetiſchen Meridian war und durch den Mittelpunkt der rotirenden Scheibe ging, ſo fand ſich 1. keine Abweichung von der verticalen Richtung, wenn die Nadel über dem Mittelpunkte der Scheibe ſtand, welches ſich wegen der nach allen Seiten gleichen Wirkung von ſelbſt verſteht; 2. wenn die Nadel etwas vom Mittelpunkte entfernt wurde, ſo ward die Spitze gegen den Mittelpunkt hin gezogen, und dieſe Wirkung nahm zu bis zu einem gewiſſen Abſtande vom Centrum, von da an nahm ſie wieder ab, und es fand ſich zwiſchen dem Mittelpunkte und Umfange ein Indifferenzpunkt, dem abermals eine vertical bleibende Stellung der Nadel entſprach; 3. entfernte man die Nadel weiter gegen den Rand der Scheibe hin, ſo ward ihre untere Spitze vom Mittelpunkte abwärts getrieben, und eben das fand noch ſtatt, wenn die Nadel ſich etwas außerhalb der Grenze der Scheibe befand. Dieſe Wirkungen zeigen ſich alſo im Ganzen als abwärts wirkend von dem Kreiſe, den die am meiſten wirkſamen Theile der Scheibe durchlaufen. Der mittlere Raum der Scheibe äußert, als langſam bewegt, nur wenig Wirkung, und ſo lange die Nadel innerhalb desjenigen Ringes bleibt, den man den Ring der vollkommenſten Wirkſamkeit nennen möchte, wird ſie von dieſem nach innen abgeſtoßen; befindet ſie ſich über dieſem Ringe der vereinigten Wirkſamkeit, ſo bleibt ſie vertical; geht ſie über ihn hinaus, ſo treibt jene unbekannte Kraft des Rotationsmagnetismus ſie hinauswärts.

Aber auch die dritte Richtung, nämlich die auf die Ebne der Scheibe ſenkrechte Kraft, mußte unterſucht werden. Hierzu bediente ſich Arago eines doppelten Mittels. Zuerſt nämlich ward wieder die Neigungsnadel, die aber durch ein kleines Gegengewicht gezwungen wurde, die horizontale Stellung ab anzunehmen (XIV. Fig. 51), angewandt; und indem nur ihre eine Hälfte a der Wirkung der Scheibe ausgeſetzt wurde, zeigte ſich eine auf dieſe Hälfte abſtoßend wirkende Kraft, ſo daß ſie gehoben wurde. Eben dieß ergab die zweite Art, den Verſuch anzuſtellen, wo nämlich an einem Waagebalken FG (XVI. Fig. 1) ein Magnet AB aufgehängt und mit ſeinem einen Pole der Scheibe genähert ward; dieſer Magnet wurde zurückgeſtoßen, er mochte ſich befinden, über welchem Punkte des Radius man wollte.

Dieſe Verſuche waren es, die Arago bewogen, jene Meinung, daß der Nordpol des Magnetes in den nächſten Punkten des Kupfers eine Südpolarität errege, als unzureichend anzuſehen, indem die Kraft, die jeder bewegte Punkt der Scheibe annimmt, zwar nach der Richtung der Tangente des Kreiſes

vorwärts, aber ſowohl nach der Richtung des Radius als ſenkrecht auf die Scheibe abwärts, Entfernung bewirkend, gerichtet iſt.

Ehe dieſe Verſuche bekannt wurden, hatte Barlow ſchon eine andre, gleichfalls merkwürdige Reihe von Verſuchen angeſtellt. Er ward durch ſeine Verſuche über die Einwirkung der Eiſenmaſſen auf die Magnetnadel auf die Frage geführt, ob bewegte Eiſenmaſſen ſich ebenſo verhielten, wie ruhende, und dieß veranlaßte ihn, eine große eiſerne Kugel in ſchnelle Umdrehungsbewegung zu ſetzen und dann ihre Einwirkung auf die Magnetnadel zu beobachten. Die Drehungsaxe lag horizontal, und es ergab ſich, wenn die Richtungskraft der Magnetnadel durch nahe ſtehende Magnete ſo gut wie ganz aufgehoben war, daß der Nordpol ſich der gedrehten Kugel näherte, wenn die Nadel ſich neben dem herabwärts gehenden Theile der Kugel befand, dagegen der Südpol ſich näherte, wenn die hinaufwärts gehende Seite der Kugel der Nadel am nächſten war. Stellte man die Nadel etwas höher als die durch die Axe gehende Horizontalebne, ſo blieb die Nadel ſenkrecht gegen die Axe gerichtet, mit dem Nordpole nach der Kugel zu, wenn die Drehung herabwärts ging oder die obern Theile gegen die Nadel zu gingen; dieß fand ſtatt, bis die Nadel neben dem 54ſten Grade der Kugel ſtand, bei höherer Stellung drehte ſich die Nadel und kehrte ihren andern Pol gegen die Kugel. Eine ähnliche Veränderung fand ungefähr bei 54° auch ſtatt, wenn man die Nadel hinabwärts ihre Stellung ändern ließ.

Dieſe Verſuche würden wohl zweckmäßiger ſo angeſtellt, daß man die Drehungsaxe der Richtung der Neigungsnadel parallel ſtellte, damit die Wirkung der Rotation ſich reiner von dem Einfluſſe des Erdmagnetismus trennte; denn bei der horizontalen Lage der Axe bringen offenbar die in der höchſten Stellung ſüdpolariſch wirkenden Eiſentheilchen noch etwas von dieſer ihnen ertheilten Veränderung des Zuſtandes mit, indem ſie ſich herab bewegen.

Poiſſon hat einen theoretiſchen Verſuch gewagt, dieſe Erſcheinungen des Rotationsmagnetismus zu erklären. Einleuchtend iſt zuerſt die Bemerkung, daß der Einfluß ruhender Körper darum ein anderer ſeyn kann, weil die kurze Zeit, innerhalb welcher die magnetiſchen Fluida in den Elementen des Eiſens und ſo auch in den kleinſten Theilen andrer Körper ihre angemeſſene Austheilung erlangen, zu kurz iſt, um uns kenntlich zu ſeyn, wogegen uns in dem Einfluß der bewegten Körper gerade dieſer noch in der Veränderung begriffene, gleichſam aufgeregte, Zuſtand der magnetiſchen Materien kenntlich werde. Es iſt im Allgemeinen wohl denkbar, daß dieſe Einwirkung, wo nach Poiſſon's Vorſtellung die magnetiſchen Materien in dem ganzen innern Raume der magnetiſchen Elemente ſich in getrenntem Zuſtande befinden mögen, viel ſtärker ſeyn kann, als es der Fall iſt, wenn dieſe getrennten magnetiſchen Materien ſich auf die Oberflächen jedes magnetiſchen Elementes begeben haben; aber es ſcheint mir unmöglich, in bloßen Worten von den Schlüſſen, die Poiſſon in Beziehung auf die durch die Bewegung veränderten magnetiſchen Erſcheinungen an ſeine Vorausſetzungen knüpft, einen Begriff zu geben. Seine

Rechnung führt ihn zu Folgerungen, die mit *Barlow's* Verſuchen, vorzüglich mit dem Erfolge, daß der Nordpol ſich an der herabwärts gehenden Seite der Kugel näherte, übereinſtimmen. Er bemerkt dabei, daß, obgleich die Theorie eine beinahe gleiche Wirkung nach außen für ſolide und hohle Eiſenkugeln von gleichem Durchmeſſer giebt, wenn dieſe ruhen, doch dieſe Wirkung für *rotirende* Kugeln ſehr ungleich wird, ſo daß es der Mühe werth wäre, Verſuche mit hohlen rotirenden Kugeln anzuſtellen und ebenfalls damit Verſuche zu verbinden, wo ſtatt des Eiſens Körper genommen würden, die eine geringere Menge Eiſen in ihrer Miſchung enthielten.

Dieſe wenigen Hindeutungen auf das, was die Theorie hier zu leiſten verſucht hat, glaubte ich mittheilen zu müſſen; aber die genauere Ueberlegung, mit welchem Rechte man einige Erfolge der Verſuche als Criterium der Uebereinſtimmung der Theorie mit der Erfahrung anſehen darf, während man andre Erfolge der Verſuche als Grundlage der Zahlenrechnung und als gegebene Größen benutzen muß, — dieſe Ueberlegung anzuſtellen iſt hier unmöglich und doch verdiente ſie wohl recht ſtreng angeſtellt zu werden. Ueberhaupt habe ich dieſen Theil der Theorie am wenigſten mit Ueberzeugung auffaſſen können.

Einfluß der Trennung der Theile auf den Rotationsmagnetismus.

Unter den über dieſen Gegenſtand angeſtellten Beobachtungen ſcheinen mir noch die von *Chriſtie* eine Erwähnung zu verdienen, welche das ſchon von *Arago* gefundene, unerwartete Reſultat, daß der Zuſammenhang der Theile des rotirenden Körpers von ſo großem Einfluſſe iſt, in ein vorzüglich helles Licht ſetzen. *Chriſtie* bediente ſich eines Apparates, wo auf einer ſehr feſten Unterlage eine Axe vertical aufgerichtet ſtand (XVI. Fig. 2) und neben ihr zwei Magnete, die mit gleichen Polen A, B nach oben gerichtet, in gleichem Abſtande von der Axe C, nach einander gleiche Wirkung auf die darüber hängende Scheibe auszuüben beſtimmt waren. Die Scheibe von Kupfer DE hing an einem langen Metallfaden, und da ſie durch die Bewegung der Magnete mit in Drehung geſetzt wurde, ſo diente die Drehungskraft des Drahtes, welche endlich die weitere Rotation der Scheibe hinderte, als ein Maaß der Kraft, mit welcher die Magnete die Scheibe zur Drehung antrieben. Die Magnete wurden bei den verſchiedenen Verſuchen bald der Axe näher, bald entfernter, alſo dem Rande der Scheibe näher rückend, aufgeſtellt, und nun beobachtet, wie viele Umläufe und Theile eines Umlaufes der an dem Faden und an der Scheibe befeſtigte Zeiger durchlief, ehe die Scheibe, wegen zu ſtarker Drehung des Fadens, eine rückgängige Drehung anfing. Hier zeigte ſich nun, daß die nahe am Mittelpunkte aufgeſtellten Magnete die Kupferſcheibe weniger mächtig mit fortzogen, daß ſie in der Mitte des Halbmeſſers ſtehend 6 Umdrehungen, auf drei Viertel des Halbmeſſers ſtehend 8¼ Umdrehungen bewirkten, aber nahe am Rande ſtehend kaum 4 Umdrehungen. Da nun ſchon andre Verſuche von *Arago* ſowohl als von *Babbage* und *Herſchel* gezeigt hatten, daß Einſchnitte in die Scheibe die Wirkung ſehr änderten, ſo

ließ Chriſtie einen Ring von $1/4$ des Halbmeſſers Breite am Rande ſo abtrennen, daß er anfangs noch an vier Stellen, dann nur an zwei Stellen, endlich gar nicht mehr mit dem innern Kreiſe zuſammenhing. Dieſes hatte den Erfolg, daß der unter dem mitlern Theile des Ringes rotirende Magnet die Scheibe nur ungefähr mit $2/5$ der Kraft, die er auf die unzerſchnittene Scheibe ausgeübt hatte, fortzog, als der Ring noch an vier einen Zoll breiten Stellen feſtſaß, und nur kaum mit $1/5$ jener Kraft, als der Schnitt die Trennung ganz vollendet hatte. Wurde die Scheibe durch mehrere concentriſche Schnitte getheilt, ſo ward durch das bloße Zerſchneiden faſt eben das bewirkt, wie durch das völlige Wegnehmen der etwas entferntern innern Theile. Die Magnete befanden ſich einen Zoll vom Rande der $4\frac{1}{5}$ Zoll Halbmeſſer habenden Scheibe, und es wurden nach und nach Schnitte auf 0,7 Zoll, 1,2 Zoll, 1,7 Zoll und 2,2 Zoll vom Mittelpunkte angebracht; die Kraft, die zuerſt eine gewiſſe Drehung = 100 hervorbrachte, als die Scheibe ganz war, ſank auf 94 nach dem innern, auf 88 nach dem zweiten, auf 76 nach dem dritten, auf 58 nach dem vierten Schnitte herab, und als der 2 Zoll breite Ring, der zuletzt außen noch übrig blieb, allein angewandt wurde, zeigte der unter ſeiner Mittellinie kreiſende Magnet auf ihn eben die Wirkung, wie vorhin, als die mittlern bloß durch den Schnitt abgetrennten Stücke noch mit jenen zugleich der Wirkung unterworfen wurden.

Dieſe Verſuche und mehrere ähnliche zeigen deutlich, daß die Continuität eine wichtige Bedingung bei der Hervorbringung dieſer magnetiſchen Wirkungen iſt. Ich wage nicht, irgend eine hypothetiſche Meinung an dieſe Erfahrung anzuknüpfen, aber ich läugne nicht, daß mir dieſe Erfahrung mit der Meinung, daß auch bei der Bewegung die magnetiſchen Materien nur eben jene unendlich kleine Ortsveränderung erleiden, die wir ihnen bei dem dauernden Magnetismus in ruhenden Körpern zuſchrieben, nicht gut zuſammen zu ſtimmen ſcheint.

Sechsundſiebenzigſte Vorleſung.

Magnetiſche Wirkungen der Electricität.

Noch einmal kehre ich zu der galvaniſchen Kette zurück, um Sie mit den wunderbaren Erſcheinungen bekannt zu machen, die aus der magnetiſchen Einwirkung der Electricität hervorgehen.

Es war eine alte Erfahrung, daß der Blitz oder der electriſche Schlag Stahlnadeln magnetiſch machen, gelegentlich die Pole einer Magnetnadel umkehren könne u. ſ. w.; aber obgleich darin eine magnetiſche Wirkung der Electricität kenntlich zu werden ſchien, ſo führten doch genauere Unterſuchungen zu der Ueberzeugung, daß die Wirkung der Electricität hier wenig von dem,

was auch andre Erſchütterungen unter dem magnetiſchen Einfluſſe der Erde hervorbringen, verſchieden ſey, daß man es nicht in ſeiner Gewalt habe, den Nordpol an einem beſtimmten Ende der Nadel hervorzubringen, und daß eine Stahlnadel ſenkrecht gegen die Richtung der Neigungsnadel gehalten auch durch den electriſchen Schlag, der durch ſie geht, nicht electriſch werde. Die voltaiſche Säule mit ihrer entſchiedenen Polarität gewährte anfangs die Hoffnung, daß hier endlich der lange geahnete Zuſammenhang zwiſchen Electricität und Magnetismus deutlich hervorgehen werde; aber auch dieſe Hoffnung ſchien durch eine zwanzigjährige Reihe von Verſuchen, die nichts zur Beſtätigung eines ſolchen Zuſammenhanges beigetragen hatten, vereitelt.

Endlich hatte der auch ſonſt durch große Verdienſte um die Naturlehre ausgezeichnete Oerſted das Glück, eine Entdeckung zu machen, die unſre Kenntniſſe um ſehr vieles erweitert und den Grund zu einem ganz neuen Theile der Electricitätslehre gelegt hat. Er fand nämlich, daß eine völlig beſtimmte und gleichmäßige Einwirkung des electriſchen Stromes auf die Richtung der Magnetnadel ſtatt finde, wenn jener nicht durch die Nadel ſelbſt, ſondern auf eine angemeſſene Weiſe neben ihr vorbei geht. Dieſes Experiment gab (1820) den ſeitdem ſehr weit fortgeführten electromagnetiſchen Unterſuchungen ihren Urſprung.

Der Oerſted'ſche Verſuch.

Man bringt den Schließungsdraht einer galvaniſchen Kette in horizontaler Richtung über oder unter einer Magnetnadel, am liebſten mit ihrer natürlichen Stellung von Norden nach Süden parallel, an, ſo findet, ſobald der electriſche Strom den Schließungsdraht durchläuft, eine Ablenkung der Magnetnadel ſtatt, die entgegengeſetzt iſt für eine oberhalb und eine unterhalb des Stromes ſtehende Nadel, und wieder entgegengeſetzt für eine oberhalb ſtehende, wenn der poſitive Strom nach Norden und wenn er nach Süden den Leiter durchläuft. Die Größe der Ablenkung richtet ſich nach der Intenſität des electriſchen Stromes; je ſtärker dieſer iſt, deſto größer iſt jene. Da hier immer von der Richtung des Stromes die Rede iſt, ſo iſt es gewöhnlich geworden, immer nur den poſitiven Strom, der in der metalliſchen Berührung vom Kupfer zum Zink geht, zu erwähnen, indem jeder leicht überſieht, was ſich daran in Beziehung auf den negativen Strom anſchließt. Auch hat Ampère es bequem gefunden, den Namen Rheophor, d. i. Träger des electriſchen Stromes, für den Schließungsleiter, in welchem die Electricität fortſtrömt, einzuführen.

Der Verſuch läßt ſich bequem auf folgende Weiſe anſtellen. Es ſey (XVI. Fig. 3) AB ein kupfernes Gefäß, etwa 6 Zoll breit und hoch, deſſen Boden ſich in genauer Berührung mit dem Metallſtreifen CDEF befindet; an dieſem Metallſtreifen iſt oben bei F, aber ſo, daß das Gefäß nicht damit in Berührung iſt, ein horizontaler Rahmen von Metall angelöthet, auf den die in das Gefäß und ohne Berührung mit dem Gefäße einzuſenkende Zinkplatte ſich mit einem an der letztern befeſtigten Rande aufſtützt. Auf den

beiden horizontalen Theilen des Metalles CDEF ſtehen Magnetnadeln, und wenn man will, können auch nahe unterhalb CD und unterhalb EF Magnetnadeln angebracht werden, die man jedoch nicht alle zugleich anbringen kann, weil dieß eine gegenſeitige Störung zur Folge haben würde. Füllt man jenes Kupfergefäß mit einem geſäuerten Waſſer und taucht die Zinkplatte, die nur wenig kleiner als der Querſchnitt AB des Gefäßes iſt, in daſſelbe ein, ſo entſteht der electriſche Strom vom Kupfer AB nach der Richtung CDEF gegen das Zink zu, und dieſer Strom dauert, weil er durch das geſäuerte Waſſer wieder zum Kupfer übergeht, unaufhörlich fort. Iſt nun der Apparat ſo geſtellt, daß CD die Richtung von Norden nach Süden iſt, ſo beſteht der Erfolg des Verſuches darin, daß ſogleich beim Entſtehen des electriſchen Stromes die Magnetnadel G über dem von Norden nach Süden gehenden electriſchen Strome ihren Nordpol nach Weſten ablenkt, daß die Magnetnadel H über dem nach Norden zu gehenden electriſchen Strome mit dem Nordpole öſtlich abgelenkt wird, und daß eine bei G unter dem Strome ſtehende Nadel öſtlich, eine bei H unter dem Strome ſtehende Nadel weſtlich abgelenkt würde.

Ich verweile jetzt nicht dabei, dieſe Erfahrung unter ein einfacheres Geſetz zu bringen, indem ſich das Geſetz bald von ſelbſt ergeben wird.

Andre magnetiſche Wirkungen des Schließungsleiters.

Die Wiederholung dieſes wichtigen Verſuches beſchäftigte bald alle Phyſiker, und man fand bald, daß der Schließungsleiter nicht bloß auf die Nadel wirke, ſondern geradezu ſelbſt magnetiſch ſey.

Arago machte ſogleich bei der Wiederholung des Oerſted'ſchen Verſuches die Bemerkung, daß der Schließungsdraht ſeines ſtarken galvaniſchen Apparats Eiſenfeile anzog und ſich rundum damit belegte; ſobald aber die Verbindung unterbrochen ward, hörte dieſe magnetiſche Wirkung des die Schließung bildenden Meſſingdrahtes auf. Dieſe Anziehung war nur auf Eiſenfeile wirkſam, nicht auf Kupferfeile oder andere Körper, und unterſchied ſich daher deutlich von der gewöhnlichen electriſchen Anziehung; die Art aber, wie die Eiſenfeile ſich anlegte und den Draht gleichſam umwickelte, unterſchied ſich auffallend von der in Nadeln auslaufenden Anordnung der Eiſenfeile, die wir unter der Einwirkung des Magnetes bemerken. Das weiche Eiſen erhielt keinen dauernden Magnetismus durch die Berührung des Drahtes, Stahlnadeln aber wurden durch den Schließungsdraht, er mochte von Silber, Kupfer oder einem andern Metalle ſeyn, ſo magnetiſirt, daß ſie dauernd ihre magnetiſche Kraft behielten. Als Arago dieſe Erfolge an Ampère mittheilte, ſagte ihm dieſer, eine Reihe anderer Verſuche leite ihn zu der Vermuthung, daß die Stahlnadel iſolirt innerhalb eines ſchraubenförmig gewundenen Leitungsdrahtes noch beſſer magnetiſch werden würde. Dieſer Verſuch, den ich ſpäter erſt beſchrieben werde, gelang vollkommen und gab ein Mittel, auch mit der Electriſirmaſchine Stahlnadeln magnetiſch zu machen, führte aber auch zugleich die Theorie Ampère's auf eine ſehr empfehlende Weiſe in die Welt ein.

Ampère's Verſuche über die gegenſeitige Anziehung und Abſtoßung electriſcher Ströme.

Die eben erwähnten Verſuche Ampère's betreffen eine Wirkung der electriſchen Ströme, die von der Wirkung der geladenen Körper gänzlich verſchieden iſt, obgleich ſie gleichfalls ſich durch Anziehung und Abſtoßung äußert. Der Leitungsdraht einer geſchloſſenen galvaniſchen Kette zeigt in der Regel keine Ladung, ſondern wenn die Schließung und Leitung vollkommen iſt, bemerkt man an Goldblättchen keine gegenſeitige Abſtoßung, wenn ſie auch mit dem den electriſchen Strom leitenden Drahte in Verbindung ſind. Wenn man den Leitungsdraht ſo fortführt, daß er parallel mit einem beweglichen Drahte iſt, ſo zeigt jener keine Anziehung oder Abſtoßung gegen dieſen, ſo lange der letztere mit keiner galvaniſchen Kette in Verbindung ſteht; dagegen wenn beide Drähte, parallel neben einander, electriſche Ströme leiten, ſo ziehen ſie einander an, wenn die parallelen Ströme nach gleicher Richtung gehen, und ſtoßen ſich ab, wenn die Ströme nach entgegengeſetzten Richtungen gehen. Da man bei dieſen Verſuchen ſehr darauf achten muß, daß die Leitung des electriſchen Stromes durch nichts aufgehalten werde, ſo muß man den beweglichen Leitungsdraht, den ich den beweglichen electriſchen Strom nennen will, um eine Axe, die in einem mit Queckſilber gefüllten Gefäßchen ſteht, ſich bewegen laſſen, und dieſe Regel iſt hier, wo man eine mit ſo geringer Kraft zum Uebergange wirkende Electricität anwendet, faſt allemal zu befolgen. Fig. 4 (Taf. XVI.) ſtellt einen ſolchen Leiter vor, der auf den beiden feinen Spitzen A, B, die in Queckſilber eintauchen, ruht und ſich daher um die Verticallinie PQ drehen kann. Der in das Queckſilber A von U her geleitete electriſche Strom nimmt ſeinen Weg nach ACDEFB und fließt dann vom Queckſilber in B durch den Leiter BR gegen den andern Pol der Kette. Befindet ſich nun neben CD, ſo daß CD ſich durch Drehung um die Axe AB gegen LM annähern kann, ein feſter Leitungsdraht LM parallel mit CD, ſo wird der electriſche Strom CD angezogen, wenn beide Ströme gleiche Richtung haben, alſo in beiden die poſitive Electricität entweder herauf oder herab ſtrömt, dagegen wird CD von LM abgeſtoßen, wenn die parallelen Ströme entgegengeſetzte Richtungen haben. Damit bei der Berührung der Drähte die Ströme nicht in einander übergehen, nimmt man zu dieſen Verſuchen mit Seide umſponnene Dräthe, die alſo zwei iſolirt fortgehende Ströme leiten, wenn auch die Bedeckungen von Seide ſich berühren. Die beiden Ströme LM, CD können als Schließungsdrähte einer und derſelben galvaniſchen Kette oder zweier Ketten genommen werden, immer iſt die Erſcheinung dieſelbe. Wenn L mit BR in Verbindung ſtände, ſo durchliefe derſelbe electriſche Strom von U kommend zuerſt den beweglichen Leiter ACDEFB, dann den feſten Leiter BRLM und die Erſcheinung würde ſich unter dieſen Umſtänden vollkommen gut darſtellen.

Dieſe Erfahrungen ſind aber nur einzelne Fälle, die in folgendem viel mehr umfaſſenden Lehrſatze mit enthalten ſind. Wenn zwei electriſche Ströme

ſo neben einander liegen, daß ſie die Schenkel eines ſpitzen Winkels bilden, nämlich verlängert ſich ſchneiden würden, ſo ziehen die Ströme ſich an, wenn beide NO und PQ (Fig. 5) von der Spitze R des Winkels ab oder beide gegen dieſelbe zu gehen; dagegen ſtoßen ſie ſich ab, wenn der eine ST (Fig. 6) gegen die Spitze zu, der andere WX von der Spitze ab fließt. Auch zu dieſem Verſuche könnte der wie in Fig. 4 aufgehängte Leitungsdraht dienen, wenn ein horizontaler Strom in der Nähe von DE in ſchiefer Richtung flöſſe; um aber ganz der Angabe des Lehrſatzes treu zu bleiben, iſt diejenige Einrichtung des frei beweglichen Leiters angemeſſener, die man in Fig. 7 ſieht. Es erhellt leicht, daß der nach beiden Seiten äquilibrirte Draht, der bei Z, Y in Queckſilber eingetaucht iſt, ſich leicht um die Axe ZY dreht. Iſt nun in eben der Horizontalebne, in welcher UX ſich bewegt, ein feſter horizontaler Leitungsdraht, der ſo gebogen iſt, daß ein Theil von ihm den nicht ganz bis an U reichenden Schenkel VW des Winkels XUW darſtellt, ſo legt ſich UX an VW an, wenn beide Ströme vom Scheitel ab oder zum Scheitel hin fließen, und im Gegentheil vergrößert ſich der Winkel und ſucht ſich bis 180° zu vergrößern, wenn die Ströme entgegengeſetzt ſind.

Endlich findet noch eine ähnliche Anziehung und Abſtoßung ſtatt, wenn auch die beiden Ströme nicht als Schenkel eines Winkels, ſo nämlich, daß ſie verlängert ſich ſchneiden würden, anzuſehen ſind, ſondern wenn ſie in zwei ſich bei der Verlängerung nicht ſchneidenden graden Linien fortfließen; auch dann haben ſie ein Beſtreben zur möglichſt nahen parallelen Richtung zu gelangen; ſie ziehen ſich daher an, wenn ſie beide von dem Punkte weg oder beide gegen den Punkt zu fließen, wo ſie ſich am nächſten kommen, und es findet dagegen Abſtoßung ſtatt, wenn der eine Strom gegen dieſen Punkt zu, der andere von ihm ab fließt.

Man kann dieſe Wirkungen, die bei einem einfachen Strome ſehr ſchwach ſind, verſtärken, wenn man einen längern Schließungsdraht ſo beugt, daß er mehrmals den Strom in gleicher Richtung fortführt. Mit Seide umſponnene Drähte ſchicken ſich hiezu am beſten, weil ſie, ohne die Ströme in einander übergehen zu laſſen, ganz nahe an einander anliegen können, und es iſt leicht zu überſehen, wie man (Fig. 4) den Draht LM bei M krümmen und in hinreichender Entfernung hinauf leiten, dann dicht neben LM wieder herableiten und dieß mehrmals wiederholen könnte, um in LM einen vervielfachten herabgehenden Strom zu erhalten. Dieſer Strom übt eine verſtärkte Wirkung aus; dagegen verliert der Strom alle Kraft, wenn man ihn von L nach M herab und nahe an LM anliegend von M nach L hinauf leiten wollte, woraus dann zugleich erhellt, daß die anziehende Kraft paralleler gleichlaufender Ströme genau ſo groß iſt als die abſtoßende Kraft paralleler entgegengeſetzter Ströme.

Hieraus erhellt die Möglichkeit, einem electriſchen Strome ſeine Wirkſamkeit nach gewiſſen Richtungen ganz zu rauben, während ſie in anderer Beziehung fortbeſteht. Iſt zum Beiſpiel (XVI. Fig. 11) AB ein Leitungs-

draht, deſſen Krümmungen alle in einer Ebene liegen, ſo geht der Strom in AC ebenſo weit rechts als in CD links, und da dieſe Ströme einander ſehr nahe und entgegengeſetzt ſind, ſo würden ſie zuſammen auf einen neben ihnen horizontal vorbeifließenden Strom gar keine Wirkung der Anziehung oder Abſtoßung ausüben; aber da der Strom in dieſen Krümmungen von A nach D herabwärts gelangt, ſo wird ein verticaler, gleichfalls herabwärts gehender Strom keineswegs unwirkſam ſeyn, ſondern dieſe Ströme ziehen ſich an. Daß dieſe letztere Wirkung ebenſo ſtatt findet, als ob der Strom vertical von A nach D herabginge, hat Ampère durch einen eigenen Verſuch nachgewieſen, indem er einen geraden verticalen Strom, der wie CD (Fig. 4) beweglich war, zwiſchen zwei verticalen Strömen aufſtellte, deren einer gerade herab ging, der andere ſich in einer Ebene hin und her krümmte, welche ſenkrecht gegen die Ebene war, in der die zwei geraden Ströme und die Hauptrichtung des gekrümmten lagen. Hier fand er, daß der gerade Strom an der einen Seite und der ebenſo entfernte, gekrümmte Strom an der andern Seite mit gleicher Kraft auf den beweglichen Strom einwirkten, ſo daß dieſer nach keiner Seite angezogen ward. Dieſer Verſuch führte zu dem Satze, daß die Wirkung der electriſchen Ströme genau ebenſo ſich zerlegen laſſe, wie es die Statik von andern Kräften lehrt, daß nämlich ein von A nach C (Fig. 8) fließender Strom ſo wirke, wie zwei Ströme, deren einer AD horizontal, der andere DC vertical iſt. Daraus geht auch hervor, daß ein ſchraubenförmig um einen Cylinder gewundener Strom ACB (Fig. 8) eben die Wirkungen ausübt, wie ein in der Axe des Cylinders fort gehender gerader Strom verbunden mit ebenſo vielen kreisförmigen Strömen, als die Zahl der Schraubenwindungen beträgt, und wenn man den von A durch den Schraubendraht nach B geleiteten Strom durch den geraden Draht AB zurück leitet, ſo iſt die Wirkung des der Axe parallelen Stromes zerſtört und die ganze Wirkung auf die Umkreiſungen zurückgeführt. Andre Verſuche, welche zeigen, daß ſich die Anziehung zweier parallel nach einerlei Richtung fließender Stromtheile umgekehrt verhält, wie das Quadrat des Abſtandes, kann ich hier wohl übergehen.

G. G. Schmid hat dieſen Verſuchen Ampère's einige ſehr merkwürdige hinzugefügt, wo die Ströme der Reibungs-Electricität eine ganz gleiche Anziehung und Abſtoßung zeigen. Er bediente ſich zweier belegter Platten AB, CD (Fig. 9), deren eine mit dem Conductor E ſo in Verbindung ſtand, daß die Seite F poſitiv geladen wurde. Sie wiſſen, daß alsdann durch den Leiter GH, der zu der andern belegten Platte hinübergeht, ein Strom poſitiver Electricität von G nach H fließt, um die Belegung H der zweiten Platte poſitiv zu laden, und daß beide Platten zugleich geladen werden, wenn von der Belegung der zweiten Platte an der Seite I eine Ableitung IK ſtatt findet. Statt des einen Leiters GH wurden aber hier zwei, nämlich ein feſtſtehender GH und ein an ſeidenen Fäden aufgehängter LM, horizontal neben jenem angebracht; der letztere war an den Enden mit Spitzen verſehen, um ſo die

von der Belegung G einſtrömende Electricität aufzunehmen und auf die Belegung H überſtrömen zu laſſen. So ging in beiden Leitern ein electriſcher Strom nach gleicher Richtung und der bewegliche Strom LM wurde wirklich von GH angezogen.

Um entgegengeſetzte Ströme hervorzubringen, wurden zwei gleiche belegte Platten UV, WZ (XVI. Fig. 10) gleich ſtark geladen und nun die poſitiv geladenen Seiten gegen einander gekehrt. Sie wiſſen, daß ein Leiter AB, der mit einer Spitze verſehen iſt, die Platte UV auslabet, wenn unterdeß eine Verbindung KL mit der Erde auf der andern Seite ſtatt findet; gegen dieſe Spitze B zu geht alſo von A aus ein poſitiv=electriſcher Strom. Bringt man ebenſo einen an ſeidenen Fäden hängenden Leiter CD an der andern belegten Platte an, der frei beweglich iſt und bei D durch eine Spitze die poſitive Electricität ausſtrömen läßt, ſo gehen die Ströme AB, CD nach entgegengeſetzten Richtungen, und Schmidt fand, daß ſie ſich wirklich abſtoßen.

Ampère's Theorie der electromagnetiſchen Erſcheinungen.

Dieſe wenigen Erfahrungen reichen aus, um die Hypotheſe zu verſtehen, durch welche Ampère die Einwirkungen auf die Magnetnadel erklärt. An jene Erfahrungen knüpft ſich nämlich ohne alle Hypotheſe der nothwendige Schluß, daß ein beweglicher electriſcher Strom, der in der Ebene ABCD (XVI. Fig. 12) einen Kreislauf oder lieber zahlreiche Kreisläufe neben einander vollendet, ſeine Ebene dem geraden Leiter EF parallel ſtellen wird, wenn auch in dieſem ein electriſcher Strom fortgeht, und zwar wird ſich der kreisförmige Strom ſo ſtellen, daß die Richtung des Stromes in ſeinen nächſten Theilen mit der Richtung des Stromes in EF übereinſtimmt, das iſt, A wird links, B rechts liegen, wenn der Strom EF von links nach rechts und in AB von A nach B geht, wogegen AB ſich umwenden würde, wenn der Strom EF weggenommen würde und dagegen der Strom ef unterhalb von e nach f ſtrömte, indem, wenn B an der linken Seite liegt, der untere Strom mit ef gleichlaufend wird.

Hieran ſchließt ſich nun die Betrachtung, daß die Magnetnadel ihre Stellung unter oder über einem electriſchen Strome ganz genau ſo nimmt, wie eine Reihe umkreiſender electriſcher Ströme ſie nehmen würde, alſo die Hypotheſe, der Magnetismus beſtehe in einer um den Magnet oder die Magnetnadel ſtatt findenden Umkreiſung der electriſchen Materie. Ohne über die Frage, ob dieſe Hypotheſe wahrhaft das Weſen des Magnetismus ausdrücke, zu entſcheiden, kann man wenigſtens das mit Sicherheit behaupten, daß die Erſcheinungen ſich ohne Ausnahme auf das vollkommenſte überſehen laſſen, wenn man dieſe Hypotheſe annimmt, und ich werde daher künftig von den den Magnet umkreiſenden electriſchen Strömen ſo reden, als ob ſie unbezweifelt vorhanden wären, und alle Erſcheinungen mit dieſer Hypotheſe vergleichen. Dieſe Ströme müſſen den Magnet ſo umkreiſen, daß ſie, wenn der Magnet in ſeiner richtigen Stellung mit dem Nordpole nach Norden gekehrt iſt, an

der obern Seite von Weſten nach Oſten, an der Oſtſeite herabwärts, an der untern Seite von Oſten nach Weſten, an der Weſtſeite hinaufwärts gehen, und dieſe Regel läßt ſich in die wenigen Worte faſſen: die Umſtrömungen um den Magnet ſind der täglichen Bewegung der Sonne entgegengeſetzt. Um mit dieſen Umkreiſungen vertraut zu werden, überlegen Sie alſo, daß für die verſchiedenen Stellungen des Magnets die Richtung der Umkreiſungsſtröme folgende iſt: für die Stellung des Nordpols nach Süden geht der Strom an der obern Seite von Oſten nach Weſten, an der Weſtſeite herab; für die Stellung des Nordpols nach Oſten geht der Strom an der obern Seite von Norden nach Süden, an der Südſeite herab; bei verticaler Stellung des Magnetes, wenn der Nordpol oben iſt, geht der Strom von der Südſeite nach der Oſtſeite, Nordſeite, Weſtſeite; bei verticaler Stellung, wenn der Südpol oben iſt, geht der Strom von Norden nach Oſten, Süden, Weſten. Dieß alles läßt ſich leicht aus der erſten Regel herleiten, die daher als der einfachſte Ausdruck für dieſe Hypotheſe anzuſehen iſt.

Die Erfolge des Oerſted'ſchen Verſuches beſtehen darin, daß ein mit der natürlichen Lage der Magnetnadel paralleler Leitungsdraht den Nordpol der Nadel nach Weſten ablenkt, wenn der poſitive Strom unter der Nadel von Norden nach Süden geht; die nach Weſten abgelenkte Nadel hat nach unſerer Hypotheſe an der untern Seite ihre electriſchen Ströme von Norden nach Süden, alſo ſucht die Nadel dieſe Stellung, damit die Uebereinſtimmung der Richtung zwiſchen ihren Strömen an der untern Seite und dem unter ihr angebrachten electriſchen Strome ſtatt finde. Kömmt dagegen (Fig. 3) der von E nach F gehende electriſche poſitive Strom von Süden her, ſo lenkt die über ihm ſtehende Nadel ſich oſtwärts ab, weil dem nach Oſten gekehrten Nordpole electriſche Ströme an der untern Seite von Süden nach Norden entſprechen.[1] So laſſen ſich alle einzelne Fälle des Oerſted'ſchen Verſuches durchgehen. Bedient man ſich bei dieſem Verſuche einer aſtatiſch aufgeſtellten Nadel und führt den electriſchen Strom von Norden nach Süden über ſie hin, ſo ſtellt die Nadel ſich genau nach einem rechten Winkel mit dem Nordpole nach Oſten; bei horizontal aufgeſtellten Nadeln tritt dieß wegen der entgegen wirkenden Richtungskraft des natürlichen Magnetismus nicht vollkommen ein, ſondern die ablenkende Kraft des Stromes treibt die Nadel nur ſo weit ſeitwärts, bis beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten.

Einwirkung des Erdmagnetismus auf Nadeln mit electriſchen Strömen umwunden.

Die Hypotheſe, die Magnetnadel gleiche einem Syſteme umkreiſender electriſcher Ströme um die Nadel, ſcheint Ihnen vielleicht etwas voreilig aufgeſtellt, da nur eine einzige Reihe von Verſuchen bisher zu ihr hinleitete; aber

[1] Am einfachſten möchte folgende von Ampère angegebene Regel ſeyn: Man denke ſich eine menſchliche Figur, die im Strome ſo liegt, daß ſie ihr Geſicht der Nadel zukehrt, während der poſitive Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt, ſo wird der Nordpol der Nadel nach der linken Seite hin abgelenkt. (M.)

unſtreitig gewinnt dieſe Hypotheſe gar ſehr an Begründung, wenn ich Ihnen zeige, daß ſich aus einem Glasſtabe eine nach Norden weiſende künſtliche Magnetnadel machen läßt, wenn man den Glasſtab mit electriſchen Strömen umwindet. Nimmt man nämlich einen Glasſtab AB (XVI. Fig. 13) und umwickelt ihn in zahlreichen Schraubenwindungen vom einen Ende bis zum andern mit einem mit Seide überſponnenen Silber= oder Kupferdrahte, läßt dann die Enden CD, EF in gerader Richtung wieder bis zur Mitte zurückgehen und löthet eine Kupferplatte K an das eine, die Zinkplatte Z an das andere Ende, ſo hat man, ſobald dieſe Verbindung an einem ungedrehten Faden bei W aufgehangen wird und K, Z in geſäuertes Waſſer getaucht werden, eine ſich in den magnetiſchen Meridian ſtellende Nadel. Die Richtung, wie die Nadel ſich ſtellt, können Sie leicht ſelbſt finden, wenn Sie ſich erinnern, daß unſre Hypotheſe der richtig nach Norden gekehrten Magnetnadel poſitiv=electriſche Ströme hinaufwärts gehend an der Weſtſeite zuſchrieb. Nehmen Sie in unſrer Zeichnung an, daß von C aus die Umwickelung CG gegen uns zugekehrt ſey, ſo iſt in CG, und ſo in allen einzelnen Umwickelungen, ein gegen uns zu liegender aufwärts gehender poſitiver Strom, der vom Kupfer K durch den Leitungsdraht nach dem Zink Z geht, ſobald KZ in geſäuertes Waſſer getaucht iſt; die Nadel wird ſich alſo ſo ſtellen, daß dieſe hinaufwärts gehenden Ströme an der Weſtſeite liegen, und A wird mithin ein Nordpol, B ein Südpol. Genau ſo findet es ſich. Lägen die Umwickelungen umgekehrt, ſo daß CG hinter der Nadel einen hinaufſteigenden Strom, GH vor der Nadel einen herabſteigenden gäbe, ſo würde die Nadel die gegen uns gekehrte Seite der Zeichnung nach Oſten wenden und A wäre ein Südpol.

Dieſer Verſuch läßt ſich mit ſo einfachen Mitteln ausführen, daß er deswegen ganz vorzüglich empfohlen zu werden verdient; Ampère hat ihn aber noch vollkommener dargeſtellt. Sind nämlich die wirklichen electriſchen Ströme, die wir in einem Schließungsdrahte fortleiten, einer eben ſolchen Einwirkung von Seiten der magnetiſchen Kraft der Erde unterworfen, wie unſre Magnetnadeln, ſo wird ſich dieß wohl auch auf eine ſolche Weiſe, wie ſie bei unſern Inclinationsnadeln ſtatt findet, zeigen, das heißt, die umkreiſenden Ströme werden ſich nicht allein ſenkrecht gegen die Richtung des magnetiſchen Meridians, ſondern auch ſenkrecht gegen die Richtung der Neigungsnadel ſtellen. Um dieſe Vermuthung zu prüfen, bediente Ampère ſich eines beinahe in völligem Gleichgewichte aufgehängten electriſchen Stromes, der ſich um eine horizontale Axe drehen konnte und an dem ſich dann deutlich das Beſtreben, jene Stellung anzunehmen, zeigte. Am beſten iſt es, zu dieſem Zwecke die Queckſilbergefäße A, B (Fig. 14), die jedes mit einem Pole der Säule in Verbindung ſtehen, in der Richtung des magnetiſchen Oſt und Weſt horizontal neben einander aufzuſtellen, damit die Axe CD horizontal und gegen den magnetiſchen Meridian ſenkrecht ſey. Geht dann der electriſche Strom von D nach EFGHIKC, ſo daß GH von Oſten nach Weſten geht, und iſt der ganze Leitungsdraht durch die Glasſtäbchen LM, N äquilibrirt, ſo hebt GH

ſich nach Süden. In der Neigungsnadel nämlich, die ihre herabgeſenkte Spitze gegen Norden kehrt, gehen, wie wir annehmen, die umkreiſenden electriſchen Ströme an der untern Seite, das iſt an der gegen Süden gekehrten Seite, von Oſten nach Weſten, und dieſer Lage ähnlich hebt ſich auch in unſerm wirklichen electriſchen Umkreiſungsſtrome der von Oſten nach Weſten fließende Strom ſüdwärts.

Um die Wirkung verſtärkt zu zeigen, hat Schweigger folgende Einrichtung vorgeſchlagen (Fig. 15). In dem Kreiſe ABC iſt ein mit Seide umſponnener Leitungsdraht ſo zuſammengelegt, daß der electriſche poſitive Strom zahlreiche Umläufe, alle in gleicher Richtung von A nach BC, machen muß, und dieſer Strom hängt leicht beweglich auf einer Metallſpitze D, um ſich leicht nach allen Weltgegenden zu ſtellen und ſelbſt, wenn eine Aequilibrirung angebracht iſt, ein Streben zu der eben angezeigten Abweichung von der verticalen Richtung kenntlich zu machen. Um dieſen Zweck zu erreichen, ſteht die metallene Spitze D bei F mit dem einen Pole der Säule in Verbindung, damit der poſitive Strom bei F eintrete. Auf D ruht das metallene Hütchen E, ſo daß der poſitiv-electriſche Strom in E eintritt und von da in den Ring ABC nach der Richtung AB übergeht. Auf dieſem Hütchen E liegt ein iſolirendes Plättchen gh und auf dieſem ſteht das Gefäß L mit Queckſilber; das Ende des umkreiſenden Drahtes U iſt mit dieſem Queckſilber in Verbindung, ſo daß der poſitive Strom in das Queckſilber und von da vermittelſt der bloß eingetaucht erhaltenen Spitze k zu dem negativen Pole der Säule übergeht. Da hier die Bewegung auf der Spitze D mit völliger Leichtigkeit ſtatt findet, und der umkreiſende Lauf des electriſchen Stromes immer gleich fortdauert, dieſer werde in eine oder in die andre Stellung gewandt, ſo nimmt er von ſelbſt diejenige Richtung an, die ihm durch irgend eine Kraft ertheilt wird. Eine ſolche Kraft iſt diejenige, die den Magnet nach Norden richtet und die, wenn unſre Vergleichungen richtig ſind, den electriſchen Strom ſo ſtellen muß, daß der herabgehende AB die Oſtſeite einnimmt und der untere Theil des Stromes ſich ſüdwärts von der Verticallinie entfernt; und dieſe Stellung gegen die Weltgegenden zeigt ſich vollkommen deutlich, die Hebung nach Süden aber ſo weit als es die Aequilibrirung und die ganze Einrichtung des Apparats erlaubt. Je mehr Umkreiſungen der Strom in dem aus Drahtwindungen beſtehenden Ringe macht, deſto ſtärker iſt die Wirkung.

Einwirkung des Magnetes auf die electriſchen Ströme.

Wenn man zwei kreisförmige electriſche Ströme völlig beweglich neben einander aufhängt, ſo werden ſie, wenn wir jetzt von dem Einfluſſe der magnetiſchen Kraft der Erde abſehen, ſich ſo ſtellen, daß die Richtung des Stromes in beiden gleich iſt. Wollte man ſie genau neben einander ſo aufhängen, daß im einen oben der Strom links, im andern rechts, alſo im einen der an der linken Seite liegende Strom herab-, im andern herauf flöſſe, ſo würden ſie ſo

nicht ruhen, ſondern ſich abſtoßen und erſt zur Ruhe kommen, wenn die Ströme gleichlaufend ſind. Bei zwei mit electriſchen Strömen umwickelten Cylindern AB, CD (Fig. 16), die ihre Enden gegen einander kehrten, würde es ebenſo ſeyn, ſie würden an Fäden L, M aufgehängt zur Ruhe kommen, wenn ihre gegen uns zu liegenden Ströme entweder in beiden herauf oder in beiden herab gingen. Behalten wir den einen umwickelten Cylinder AB und hängen in CD einen Magnet auf, deſſen Nordpol C iſt, ſo wendet dieſer uns ſeine Weſtſeite zu, wo wir hinaufwärts gehende electriſche Ströme annehmen; der Cylinder AB muß alſo ſo zur Ruhe kommen, daß auch in ihm die hinaufwärts gehenden Ströme uns zugekehrt ſind. Der Verſuch zeigt dieß wirklich, und der mit electriſchen Strömen umwickelte Cylinder wird zugleich mit dieſem Ende gegen den Nordpol C des Magnets gezogen, gerade als ob B ein Südpol einer Magnetnadel wäre. Der Magnet wirkt alſo auf die electriſchen Ströme ſo wie auf einen zweiten Magnet, und ein umkreiſender Strom wirkt ſo auf den Magnet wie auf einen andern umkreiſenden Strom, ſo daß ſich die Uebereinſtimmung zwiſchen den magnetiſchen Phänomenen und denen der electriſch umkreiſenden Ströme immerfort beſtätigt findet.

Einige Einwendungen, die ſich im erſten Augenblicke darzubieten ſcheinen, widerlegt eine nähere Betrachtung. Es ſcheint nämlich, wenn wir (Fig. 17) den Südpol S des einen Magnets gerade neben den Nordpol n des andern bringen, daß dieſe ſich abſtoßen müßten, weil hier herabgehende Ströme an der Seite a den hinaufgehenden an der Seite b zugekehrt ſind; aber die geſammte Wirkung aller bis nach c, d hin liegenden Ströme iſt dennoch, die Ebnen der Umſtrömungen ſo parallel zu ſtellen, daß in beiden die obern Theile der Ströme parallel, die unteren Theile der Ströme parallel u. ſ. w. ſind. Dieß zeigt ſich bei wirklichen mit umkreiſenden Strömen verſehenen Nadeln, und es erhellt daher, daß es nicht der Hypotheſe entgegen iſt, wenn auch in dieſer Lage Nordpol und Südpol zweier Magnete ſich ebenſo gut, wie Nordpol und Südpol zweier Nadeln mit umkreiſenden Strömen anziehen.

Man hat dieſe Anziehung in mehreren Verſuchen gezeigt, unter denen ich nur noch einen von de la Rive anführen will. Dieſer bediente ſich eines ſchwimmenden electriſchen Stromes, welcher der Wirkung eines Magnets ausgeſetzt wurde. Denken Sie ſich nämlich in das Korkſtück AB (Fig. 18) einen metallenen Streifen L, an welchem in K Kupfer, in Z Zink angelöthet iſt, eingeſetzt, ſo geht, ſobald die Theile K, Z in geſäuertes Waſſer getaucht ſind, auf welchem AB ſchwimmt, ein electriſcher Strom von K durch L nach Z. Hält man nun einen ſtarken Magnet mit ſeinem Nordende von vorn her gegen den Ring L gerichtet, ſo zieht er den Schwimmer heran und dieſer nimmt ſeine Stellung ſo, daß das Ende des Magnets ſich bis in den Ring L erſtreckt; hätte man dagegen den Südpol des Magnets ſo gehalten, daß der Südpol vom Beobachter vorwärts gerichtet und der herabgehende Strom LZ rechts liegt, ſo wird der Schwimmer abgeſtoßen und ſucht ſich zu drehen, bis der hinaufwärtsgehende Strom an der rechten Seite iſt, wo er dann angezogen

wird. Dieß iſt wieder richtig, denn der von mir abwärts, vorwärts gerichtete Südpol hat ſeine hinaufwärts gehenden Ströme nach unſrer Hypotheſe an der rechten Seite.

Nach allen dieſen Uebereinſtimmungen hat es mir vom erſten Augenblicke der Bekanntmachung der Ampère'ſchen Theorie an geſchienen, daß es kaum möglich ſey, eine glücklichere, allen Erſcheinungen noch beſſer entſprechende Hypotheſe aufzuſtellen, und alle folgenden Unterſuchungen beſtätigen dieß ſo ſehr, daß ich hoffe, Sie werden dieſer meiner Meinung Ihre Zuſtimmung geben.

Siebenundſiebzigſte Vorleſung.

Magnetiſirung des Stahls und Eiſens.

Die electriſchen Ströme ziehen ſich einander an oder ſtoßen ſich ab; ſie werden vom Magnet angezogen und vom Magnet abgeſtoßen; ſie zeigen unter der Einwirkung der Erde genau ſo wie der Magnet eine polariſche Richtung gegen die Himmelsgegenden; — das war der Inhalt der neulich mitgetheilten Folgerungen aus den Verſuchen; aber die Electricität dient auch zum Magnetiſiren des Stahls und Eiſens, und dieſer Gegenſtand ſoll uns jetzt beſchäftigen.

Ich ging neulich von der kurzen Bemerkung, daß Arago Stahlnadeln mit Hülfe des electriſchen Leitungsdrahtes magnetiſirt und daß Ampère dazu ſchraubenförmig gewundene Schließungsdrähte empfohlen habe, zu den wichtigen Entdeckungen Ampère's über; jetzt aber kann ich jene Verſuche leichter angeben und erklären. Wenn ich eine Stahlnadel ihrer Länge nach ſo über die Querrichtung eines Leitungsdrahtes wegziehe, daß der electriſche Strom von rechts nach links unter der ſo beſtrichenen Stahlnadel fortfließt, ſo iſt die Stahlnadel magnetiſirt und das von mir abwärts gehaltene Ende der Nadel ein Nordpol geworden. — Die Magnetnadel hat aber, indem ich mir ihren Nordpol von mir abwärts gehalten denke, ſolche Umkreiſungsſtröme, nach der Theorie Ampère's, daß ſie an meiner rechten Seite, welches jetzt die natürliche Oſtſeite der Nadel iſt, herab und an der untern Seite von meiner rechten nach meiner linken Seite gehen; dieſe magnetiſirte Nadel iſt alſo ſo magnetiſirt, als ob der von rechts nach links unter ihr vorbeifließende wirkliche electriſche Strom auch in ihr ſelbſt an der untern Seite einen gleichen Strom und dieſem gemäß einen Umkreiſungsſtrom hervorgebracht hätte. Findet nun dieß ſchon ſtatt, wenn die Nadel nur auf jenem Strome in der Querrichtung auflag, wie viel mehr wird es der Fall ſeyn, wenn der Strom umkreiſend um alle Theile der Nadel geleitet wird. — Dieſer Schluß, welcher dem Vorſchlage Ampère's zum Grunde lag, iſt ſo vollkommen wahr, daß man ihn durch

eine Reihe von Verſuchen beſtätigt findet, bei denen man nur vermeiden muß, daß der electriſche Strom nicht die Nadel der Länge nach durchlaufe, indem er da gänzlich unwirkſam ſeyn würde, ja ſogar den ſchon erlangten Magnetismus zerſtören kann. Nimmt man aber, damit kein Uebergang der Electricität auf die Nadel ſelbſt ſtatt finde, einen mit Seide umſponnenen Draht als Leitungsdraht, und windet dieſen in Form eines Schraubenganges um die Stahlnadel, ſo macht der electriſche Strom, wenn er mit hinreichender Stärke den Draht durchläuft, die Nadel magnetiſch, und zwar iſt diejenige Seite der Nadel ihre Oſtſeite, wo der poſitiv-electriſche Strom, um die horizontale Nadel kreiſend, herabwärts geht.[1] Aber nicht bloß der Schließungsdraht der einfachen galvaniſchen Kette oder der voltaiſchen Säule kann hier als Leiter des electriſchen Stromes dienen, ſondern man kann auch eine electriſche Flaſche durch die Leitung dieſes Drahtes ausladen oder einen Strom durch Reibung erregter poſitiver Electricität ſo umkreiſend fortleiten; auch dann hat man nicht bloß eine ſicher hervorgebrachte Magnetiſirung, ſondern auch eine Magnetiſirung, bei welcher die Lage der Pole völlig ſicher beſtimmt iſt, und bei gleichbleibender Lage der Nadel iſt immer dasjenige Ende ein Nordpol, welches nach Verſchiedenheit der Richtung der Umwickelung ein ſolcher werden muß. Auf die Lage der Nadel ſelbſt gegen Norden oder Oſten kömmt dabei nichts an. Dieß nun iſt etwas, was man früher mit electriſchen Schlägen durchaus nicht zu leiſten vermochte, da dieſe, wenn man ſie durch die Nadel gehen ließ, wie ich früher erwähnt habe, nur ebenſo wie andere Erſchütterungen unter Einfluß des Erdmagnetismus wirkten, aber bei der Lage der Nadel in der Ebene des magnetiſchen Aequators auch ebenſo unwirkſam wie andere Schläge waren.

Dieſe Magnetiſirungen ſind auf höchſt mannigfaltige Weiſe ausgeführt worden, und jede neue Anordnung gewährt eine neue Belehrung; indeß kann ich hier nur noch bei einigen wenigen Abänderungen des Verſuches verweilen. Pfaff in Erlangen ließ den electriſchen Strom durch Spiraldrähte (XVI. Fig. 19), die in einer Ebene liegen, gehen, und fand hier, daß die Nadel Nn, die beinahe durch den Mittelpunkt geht, alſo gegen die Windungen des Stromes beinahe ſenkrecht iſt, zwei Nordpole in N und n erhielt, wenn die Nadel auf der Spirale lag und der Strom von K in den Mittelpunkt, von dort aber durch die Umläufe nach Z geleitet wurde. Dieß iſt ganz richtig, denn der electriſche Strom, den wir als den Magnet umkreiſend anſehen, geht unten von der Oſtſeite nach der Weſtſeite der Nadel, alſo wird n S ein Magnet, deſſen Südpol S, deſſen Nordpol n iſt, dem unter ihm von der Oſtſeite O nach der Weſtſeite W fließenden Strome gemäß; aber umgekehrt wird SN ein Magnet, der ſeinen Nordpol in N hat, weil der hier von o nach w eintretende Strom es ſo fordert und dieſer o zur Oſtſeite der Nadel macht.

[1] Bei rechtsgewundenen Schraubendrähten (wo die Windungen ſo laufen wie bei einem Korkzieher) wird dasjenige Ende zum Nordpol, wo der poſitive Strom eintritt, bei linksgewundenen dasjenige, wo er austritt. (M.)

Aus denſelben Grundſätzen erklärt ſich auch folgender anfangs unerwartet ſcheinender Verſuch. Wenn man einen in ſich ſelbſt zurückkehrenden Ring ABC von Stahldraht (Fig. 20) ſo aufſtellt, daß der Leitungsdraht ſenkrecht gegen die Ebene desſelben durch ſeinen Mittelpunkt D geführt wird, ſo zeigt der Ring, nachdem man Entladungsſchläge durch D hat gehen laſſen, keine magnetiſche Kraft; aber wenn man den Ring zerſchneidet, ſo iſt jedes Stück ein Magnet und die Pole aller Stücke finden ſich in derſelben Richtung liegend. Wäre bloß der Stahldraht AB da und ginge der poſitive Strom in D von oben nach unten, ſo wiſſen wir, daß die nach dem Mittelpunkte zu gekehrte, dem herabgehenden Strome zu gekehrte Seite eine Oſtſeite des Magnets, alſo B ein Nordpol, A ein Südpol würde; wäre bloß der Stahldraht AC da, ſo würde durch denſelben Strom die innere Seite eine Oſtſeite und A ein Nordpol; alle einzelnen Theile des Drahtes würden alſo ſämmtlich ihre innere Seite als eine Oſtſeite zeigen und der Südpol jedes nächſten Stückes würde an den Nordpol des andern Stückes grenzen, woraus eine völlige Aufhebung der magnetiſchen Wirkungen, ſo lange der Ring ganz bleibt, hervorgeht. Ebenſo hat man den Schlag durch den Mittelpunkt einer Stahlſcheibe gehen laſſen, deren einzelne Theile ſich dann erſt nach der Zerlegung magnetiſch zeigen.

Savary hat bei Verſuchen, wo der electriſche Schlag in einem gradlinigen Drahte ſenkrecht gegen die Richtung der Stahlnadel an ihr vorbei geführt wurde, die Bemerkung gemacht, daß nur bei der Berührung und in großer Nähe die Pole der Nadel ſo werden, wie es dieſen Beſtimmungen gemäß iſt, daß etwas entfernter vom Leitungsdrahte liegende Nadeln bei ganz gleichen Schlägen entgegengeſetzte Pole erhalten, daß aber auch dieß nur bis zu einer gewiſſen Grenze ſtatt findet und noch entferntere Nadeln ihre Pole wieder ſo haben, wie die nahe am Leitungsdrahte liegenden, ja dieſer Wechſel der Pole kann ſogar noch öfter vorkommen. Bei ſehr dünnen Leitungsdrähten fand ein ſolcher Wechſel nicht ſtatt, und der Erfolg war überhaupt nach der Länge und Dicke des Leitungsdrahtes, auch nach der Dicke und Härtung der Stahlnadeln verſchieden. Aus den übrigen Verſuchen Savary's will ich nur noch die ausheben, wo die zu magnetiſirenden Nadeln in metalliſchen Umhüllungen lagen. Arago hatte gefunden, daß die in Glasröhren innerhalb eines ſchraubenförmigen Leitungsdrahtes liegenden Stahlnadeln ebenſo gut magnetiſch wurden, als wenn dieſe iſolirende Umhüllung nicht da war; dagegen fand Savary, daß eine Stahlnadel, die ſich in einem Cylinder von ſtarkem Kupfer befand, nicht magnetiſirt wurde, wenn der electriſche Schlag, ohne auf das Kupfer übergehen zu können, in ſchraubenförmigen Umwindungen außerhalb des Kupfers fortging. Das Kupfer hinderte alſo bei bedeutender Dicke den Einfluß des electriſchen Stromes auf die Stahlnadel, bei geringerer Dicke ward dieſe Hinderung geringer, und bei ſehr geringer Dicke fand ſich die eingeſchloſſene Nadel ſogar ſtärker magnetiſch, als die uneingeſchloſſen daneben liegende. Da die Geſetze, nach welchen ſich alle dieſe Ungleichheiten richten, noch nicht recht klar erhellen, ſo glaube ich

hier nicht weiter bei dieſen Verſuchen verweilen zu dürfen, und füge nur noch hinzu, daß Kupferfeile und Eiſenfeile, als dichte Umhüllung der Nadeln gebraucht, keine erhebliche Wirkung zeigten und hier alſo eben die Ungleichheit der Wirkung feſter und zertheilter Maſſen, wie bei dem durch Rotation hervortretenden Magnetismus, ſichtbar wird. Savary glaubt, jene Wechſel in den Wirkungen deuteten auf Vibrationen hin.

Zu dieſen Verſuchen hat Sturgeon noch einen ungemein ſchönen hinzugefügt. Man hätte wohl ſchon früher auf den ſo nahe liegenden Gedanken geleitet werden ſollen, daß, wenn Stahl ſich unter dem Einfluſſe eines umkreiſenden electriſchen Stromes dauernd magnetiſch machen laſſe, weiches Eiſen, weil es dem magnetiſchen Einfluſſe ſo leicht nachgiebt, während dieſes Einfluſſes noch viel mehr magnetiſche Kraft zeigen müſſe. Dieſer Gedanke war es ohne Zweifel, der Sturgeon zu dem Verſuche leitete, um einen in die Form eines Hufeiſens gebogenen Stab ABC weichen Eiſens (XVI. Fig. 21) einen mit Seide überſponnenen ſtarken Kupferdraht ſchraubenförmig zu wickeln, durch dieſen einen kräftigen electriſchen Strom laufen zu laſſen und dann das Eiſen AC als angehängten Anker dieſem temporären Magnete oder Electromagnete darzubieten. Der Verſuch gehört zu den überraſchendſten, die man ſehen kann, wegen des ſchnellen Wechſels einer ſchnell entſtehenden und ſchnell verſchwindenden Magnetiſirung. Wenn alles zum Verſuche vorbereitet iſt, aber die Leiter, die von den Queckſilbergefäßen D, E aus, worin die Enden des Kupferdrahtes ſich befinden, zu den beiden Polen des galvaniſchen Apparates gehen und dort in Queckſilber eingetaucht die Leitung des Stromes bewirken ſollen, noch nicht angebracht ſind, ſo iſt das Eiſen unmagnetiſch oder nach öfterem Gebrauche allenfalls nur ſo unbedeutend magnetiſch, daß das Eiſen AC doch immer faſt mit gar keiner Kraft an dem gekrümmten Stabe anhängt; aber bringt man nun die leitende Verbindung zu Stande, ſo iſt die Anziehung ſogleich ſo groß, daß ſie Laſten, die ungemein bedeutend ſind, trägt. Ein gebogener Eiſenſtab von etwa 20 bis 24 Zoll Länge und ½ Zoll Dicke mit 170 Windungen ſtarken Kupferdrahts umwunden erhält, mit Hülfe eines galvaniſchen Apparates von einer Zinkplatte, die lange keinen Quadratfuß groß zu ſeyn braucht, und zwei ebenſo großen Kupferplatten, faſt im Augenblick der anfangenden Wirkung des Stromes eine Tragkraft von 20 Pfund, die aber in einem Momente verloren iſt, wenn man den einen Leitungsdraht oder beide aus den Queckſilberſchälchen aushebt, und ſich augenblicklich wieder herſtellt, wenn der Kreislauf des Stromes hergeſtellt iſt. Welcher Pol dieſes künſtlichen Magnetes Nordpol, welcher Südpol iſt, will ich nicht umſtändlich angeben, da die Anleitung zu dieſer Beſtimmung im Vorigen gegeben iſt und ſich allemal richtig zeigt; durch Umkehrung des electriſchen Stromes, indem man jeden Leitungsdraht in dasjenige Queckſilberſchälchen eintaucht, in welchem ſich bisher der andre befand, werden die Pole augenblicklich verwechſelt.

Dagegen muß ich die rieſenmäßige Ausführung dieſes Verſuches noch erwähnen, die von einigen americaniſchen Naturforſchern zu Stande gebracht iſt.

Sturgeon ſelbſt hat jenen Verſuch ſchon etwas mehr im Großen ausgeführt, indem er einen größern Eiſenſtab mit mehreren Lagen von ſchraubenförmigen Leitungsdrähten umwickelte und dieſe Lagen durch Seide von einander trennte; aber ſehr viel weiter haben dieß Henry und ten Eyck getrieben. Sie nahmen eine gehörig (in Hufeiſenform) gekrümmte, drei Zoll dicke, 30 Zoll lange weiche Eiſenſtange von 59½ Pfund und wandten 26 einzelne 31 fußige Kupferdrähte zur Umwickelung an, ſo daß die in Schraubengängen das Eiſen umkreiſenden Windungen 728 Fuß betrugen; die übrig bleibenden Enden wurden ſo zuſammen gelöthet, daß alle 26 den poſitiven Strom empfangenden vereinigt und ebenſo alle 26 den poſitiven Strom wieder zur galvaniſchen Kette hinüberführenden Drähte vereinigt und zuſammen an die Metalle gelöthet wurden, welche die Elemente der galvaniſchen Wirkung darboten. Wurden dieſe Drähte, die alle auf gleiche Weiſe in mehreren Schichten übereinander gewickelt waren, und zwar an den Enden des Eiſens am dichteſten, mit einem Plattenpaare von 4⁷⁄₉ Quadratfuß durch Löthung feſt verbunden und dieſes Plattenpaar in geſäuertes Waſſer getaucht, ſo konnte der dann entſtehende Electromagnet 2000 Pfund tragen und war alſo ſtärker als man nur je einen Magnet zu erhalten gehofft hat.

Noch übertroffen werden dieſe Reſultate durch die in der neueſten Zeit erfundenen Verbeſſerungen des galvaniſchen Apparates und der Einrichtung der Electromagnete ſelbſt. Joule (in Salford bei Mancheſter) hat aus einem 8 Zoll langen, 3¾ Zoll im äußern Durchmeſſer haltenden Hohlcylinder von Eiſen, der mit 4 Kupferdrähten von je 23 Fuß Länge umwickelt war, mittelſt einer Zinkeiſenbatterie einen Electromagnet von 2030 Pfund Tragkraft (bei 15 Pfund Gewicht), bei Anwendung von 21 Drähten und einer Kette von 16 Elementen zu 1 Quadratfuß aber einen von 2775 Pfund Tragkraft erhalten, wiewohl der ganze Apparat mit Anker nur 26 Pfund wog. Roberts in Mancheſter ſteigerte die Tragkraft durch 8 Zinkeiſenelemente auf 2950 Pfund u. ſ. w.

Hinſichtlich der Abhängigkeit des im weichen Eiſen hervorgerufenen Magnetismus von den Umſtänden ſeiner Erzeugung haben Jacobi und Lenz nach genauer Unterſuchung folgende Geſetze gefunden: 1) der im weichen Eiſen durch galvaniſche Ströme hervorgerufene Magnetismus iſt dieſen Strömen genau proportional; 2) die größere oder geringere Dicke, ſowie die Form der Drähte iſt bei gleicher Stärke des Stroms und einer gleichen Anzahl von Windungen völlig gleichgültig, doch bedürfen dickere Drähte des geringeren Leitungswiderſtandes wegen nur ſchwächere Electromotoren; 3) bei gleichen Strömen iſt die Stärke der Windungen im Allgemeinen von keinem Einfluß, nur bei kürzern Eiſenſtäben ſind die weitern Spiralen gegen die engern etwas im Nachtheile; 4) die Totalwirkung ſämmtlicher einen Eiſenkern umgebenden Windungen iſt der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich; 5) die Maxima des Magnetismus verhalten ſich wie die Quadratwurzeln der Zinkoberflächen in der Batterie; 6) der Magnetismus, den Eiſenſtäbe von gleicher Länge bei gleichen Strömen annehmen, iſt ihren Durchmeſſern proportional. — Erſt einige Zeit

nach dem Schluſſe der Kette erreicht der Magnetismus ſein Maximum; andrerſeits bleibt bei Anwendung eines Ankers noch längere Zeit nach dem Oeffnen der Kette ein bedeutender Theil des Magnetismus zurück und verſchwindet erſt, wenn der Anker entfernt wird. — Uebrigens kann man mit Hülfe temporärer Electromagnete durch Streichen dauernde Stahlmagnete erhalten.

Schweigger's Multiplicator.

Von dieſen Erſtaunen erregenden Wirkungen laſſen Sie uns jetzt auf nützliche Anwendungen übergehen, die man von den electromagnetiſchen Apparaten gemacht hat, zunächſt um die Geſetze der Wirkung der electriſchen Ströme genauer kennen zu lernen. Schweigger's Multiplicator, ein Inſtrument, das auch den Namen Galvanometer erhalten hat, iſt hiezu von vorzüglichem Nutzen. Die Einrichtung dieſes Inſtrumentes, das ich ſchon früher zuweilen genannt habe, obgleich ich es noch nicht beſchreiben konnte, iſt folgende. Eine an dem ungedrehten Seidenfaden AB (XVI. Fig. 22) hängende Magnetnadel NS befindet ſich zwiſchen den über und unter ihr fortgehenden, zahlreichen Umwickelungen eines mit Seide überſponnenen Metalldrahtes, deſſen Enden K, Z mit den beiden Körpern, die zur Erregung des electriſchen Stromes dienen ſollen, in Verbindung geſetzt werden. Haben nun dieſe Umwickelungen die Stellung nach der Richtung des magnetiſchen Meridians, ſo bleibt die Nadel zwiſchen den Windungen des Multiplicators in Ruhe, ſo lange kein electriſcher Strom den Draht durchläuft; ſobald aber von K nach LMZ ein poſitiv-electriſcher Strom erregt wird, ſo ſtellt ſich die Magnetnadel ſo, daß ihre Oſtſeite den herabgehenden, ihre Weſtſeite den hinaufgehenden Strömen zugewandt iſt, und ihre Ablenkung vom Meridiane macht uns das Vorhandenſeyn dieſer Ströme kenntlich. Die Empfindlichkeit dieſes Inſtrumentes wird deſto mehr vergrößert, je zahlreicher die Umwickelungen ſind, deren die Figur nur wenige darſtellt; denn da der electriſche Strom dieſe Umwickelungen nach einander durchläuft, ſo übt jeder dieſer Ströme ſeine ablenkende Wirkung aus, und die Vervielfachung der Wirkungen iſt bei hundert Windungen nur darum nicht vollkommen die hundertfache, weil theils der längere Leitungsdraht durch vermehrten Widerſtand den Strom um etwas ſchwächt, theils es nicht möglich iſt, alle hundert Umwickelungen gleich nahe und gleich vortheilhaft anzubringen; indeß wenn wir dieſe Umſtände, als doch nur wenig bedeutend, aus den Augen laſſen, ſo können wir bei hundert Umwickelungen von einer hundertmaligen Vervielfachung der Wirkungen ſprechen. Die Ablenkungen der Nadel werden auf einem in Grade getheilten Kreiſe abgeleſen.

Die Empfindlichkeit des Inſtrumentes wird noch erhöht, wenn man außerhalb der Windungen des Multiplicators, an demſelben Faden und mit der erſten Nadel durch ein feines Stäbchen (einen Strohhalm oder dünnen Draht) feſt verbunden, noch eine zweite Magnetnadel ns in genau entgegengeſetzter Richtung anbringt, wo dann der getheilte Kreis ſich nahe unter sn befindet.

Dieſe beiden Nadeln, obgleich ſie ſtark magnetiſirt ſeyn müſſen, haben dann vereinigt faſt gar keine Richtungskraft, indem nur der Unterſchied ihrer etwas ungleichen Drehungskräfte ſie zu der richtigen Stellung in den magnetiſchen Meridian zurückführt;[1] eben darum reicht dann auch die allerſchwächſte ablenkende Kraft hin, um beide vereinigte Nadeln vom Meridian zu entfernen, und die Einwirkung der Ströme L führt die umgekehrt geſtellte Nadel sn nach eben der Seite, nach welcher die Ströme L und M die unten ſtehende Nadel NS (die ich als die etwas ſtärkere annehme) führen. Ein Multiplicator mit zwei Nadeln giebt die kleinſten Spuren eines electriſchen Stromes an; doch bemerkt Nobili, daß die Zuckungen des Froſches ſelbſt noch da in ſchwachem Maaße erfolgen, wo der Multiplicator aufhörte, deutliche Ablenkungen zu zeigen.

Die nächſte Anwendung, die man von dieſem Multiplicator machen kann, iſt die Prüfung zweier Metalle, ob der poſitive Strom vom erſten zum zweiten oder vom zweiten zum erſten geht. Will man zum Beiſpiel wiſſen, ob der poſitive Strom vom Kupfer zum Silber oder umgekehrt geht, ſo nimmt man eine Silberplatte und eine Kupferplatte, legt ein angefeuchtetes Papier zwiſchen beide, und drückt nun den Draht K an das Kupfer, den Draht Z an das Silber. Indem dieß geſchieht, ſieht man die Nadel diejenige Ablenkung annehmen, die einem von Z nach MLK gerichteten Strome entſpricht, oder die Nadel wird nach eben der Seite abgelenkt, wie es der Fall ſeyn würde, wenn man in K Zink und in Z Kupfer anbringt. Da der Multiplicator ſelbſt für die kleinſten Unterſchiede der electromotoriſchen Wirkſamkeit eine Entſcheidung giebt, ſo kann man mit ſeiner Hülfe ſelbſt über Fälle entſcheiden, wo die electromotoriſche Thätigkeit nur ſehr gering iſt, zum Beiſpiel, ob ſich, wie ich früher erwähnt habe, zwiſchen einer lange Zeit nicht gebrauchten Kupferplatte und einer Platte, die ſo eben aus einer wirkſamen voltaiſchen Säule genommen wird, ein electriſcher Strom erzeugt, und ſo in ähnlichen Fällen.

Die Wirkung, welche ſich hier, wegen der zahlreichen auf die Nadel wirkenden electriſchen Ströme des Multiplicators, zeigt, iſt ſo groß, daß die ſo höchſt bewegliche Nadel oft mehrere ganze Umläufe in Folge des bei der Berührung der Metalle entſtehenden electriſchen Stromes macht; dieſes iſt Folge der Gewalt, mit welcher die Ablenkung hervorgebracht wird, durch welche die Nadel ſehr weit über das eigentliche Ziel, nämlich die gegen den Meridian ſenkrechte Stellung, hinausgeführt wird. Daß man die Nadel zu Abweichungen nach entgegengeſetzten Seiten zwingt, wenn man bei den durch naſſes Papier getrennten zwei Metallen bald K an das Kupfer, Z an das Zink bringt, bald die entgegengeſetzte Anordnung wählt, brauche ich wohl kaum zu erwähnen.

Der Multiplicator kann aber nicht allein angewandt werden, um zu ſehen, ob der poſitive Strom durch den Leitungsdraht von K nach Z oder von Z nach K geht, ſondern er dient auch zur Meſſung der Stärke des

[1] Eine ſolche, von Nobili angegebene Doppelnadel kann ebenſo gut als eine einfache, die ſich nur in der Ebene des magnetiſchen Aequators bewegen kann, eine aſtatiſche genannt werden. (M.)

Stromes, und in dieſer Hinſicht habe ich ihn mehrmals bei Gelegenheit der Verſuche Fechner's erwähnen müſſen. In den früheren Unterſuchungen iſt wohl die Menge des entwickelten Gaſes bei der Waſſerzerſetzung oder die Länge des zum Glühen kommenden Drahtes als Maaß der Kraft eines galvaniſchen Apparates angegeben; aber dieſe und ähnliche Beſtimmungen erlauben keine ſonderliche Genauigkeit. Die Einwirkung auf die Magnetnadel könnte nun auf mehrere Arten zum Maaße der Kraft des Stromes dienen, entweder indem man bei nicht allzu beweglichen Nadeln den Abweichungswinkel beſtimmte, oder indem man die an einem zarten Faden hängende Nadel nach Art der Coulomb'ſchen Drehwaage behandelte und die Kraft der Ablenkung mit der Drehungskraft des Fadens ins Gleichgewicht ſetzte, oder indem man die Oſcillationen der Nadel beobachtete. Die letzte Methode, die Fechner mit Recht als am meiſten zu Vergleichungen geeignet wählte, bedarf einer genauern Erklärung. Wir nahmen bisher immer an, daß die electriſchen Ströme in der Richtung des magnetiſchen Meridians über und unter der Nadel fortliefen, und daß dieſe daher zu einer gegen den Meridian ſenkrechten Richtung hin abgelenkt werde; für die jetzt zu beſchreibenden Verſuche dagegen iſt es nothwendig, die Umſtrömungen ſenkrecht auf den Meridian und ſo ſtatt finden zu laſſen, daß der herabgehende poſitive Strom an der Oſtſeite der Nadel herabgeht, der unter ihr hinfließende von Oſten nach Weſten u. ſ. w. Bei dieſer Stellung der Ströme wird die Nadel gar nicht von ihrer Richtung abgelenkt; aber eben die Kraft, welche ſie im vorigen Falle zu derjenigen Stellung in Beziehung auf die Umſtrömungen hinzog, in welcher ſie ſich jetzt ſchon befindet, zeigt ſich nun durch ſchnelleres Oſcilliren der Nadel. Die Kraft der electriſchen Umſtrömung beſteht darin, daß ſie die Nadel in die gegen die Ebene der Umſtrömungen ſenkrechte Richtung zu bringen ſtrebt; wenn alſo durch eine fremde Gewalt die Nadel von dieſer Richtung entfernt wird, ſo kehrt ſie mit deſto größerer Schnelligkeit zu derſelben zurück, je größer die Kraft der electriſchen Ströme iſt, und die Größe dieſer Kraft läßt ſich mithin aus der Schnelligkeit der Oſcillationen berechnen. Bei einem Verſuche Fechner's machte die Magnetnadel, ehe ſie dem electriſchen Strome ausgeſetzt wurde, 4 Schwingungen in 15 Sec. und nachher, als die Wirkung des electriſchen Stromes die Oſcillationen beſchleunigte, brauchte ſie nur 33 Sec. zu 56 Oſcillationen; im erſten Falle alſo 56 Schwingungen in 210 Secunden, im andern Falle ebenſo viele in 33 Secunden. Die Kräfte verhalten ſich wie die Quadrate dieſer Zahlen, alſo die allein wirkende magnetiſche Kraft der Erde zu der aus dieſer und der Einwirkung des Stromes zuſammengeſetzten Kraft wie 33 . 33 = 1089 zu 210 . 210 = 44100, das iſt wie 1 zu 40,49; die Kraft, mit welcher die Einwirkung des electriſchen Stromes die Nadel zu ihrer Lage zurückführte, war folglich 39½ mal ſo groß, als die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkte.

Aus dieſer Anwendung des Multiplicators läßt ſich in jedem Falle die Größe der Kraft des electriſchen Stromes beſtimmen, ihre Abnahme nach

beſtimmter Zeit der Schließung der Säule, ihre Erneuerung, nachdem die Schließung unterbrochen oder überdieß die Platten der Luft ausgeſetzt worden, ihre Aenderung, wenn man längere Schließungsdrähte anwendet u. ſ. w.

Hier läßt ſich nun auch der Verſuch deutlich machen, den ich früher als paſſend, um die ungleiche Leitung verſchiedener Metalle zu beſtimmen, erwähnt habe. Wenn man nämlich zwei mit Seide umſponnene Drähte von gleicher Dicke, aber von verſchiedenen Metallen neben einander zu den Windungen des Multiplicators anwendet und durch den einen den electriſchen Strom von K nach Z, durch den andern von Z nach K gehen läßt, ſo ſchwächen dieſe entgegengeſetzten Ströme offenbar die Wirkung auf die zwiſchen den Windungen des Multiplicators liegende Magnetnadel gegenſeitig. Sind die Drähte nicht bloß gleich dick und gleich lang, ſondern auch von gleich gut leitenden Metallen, ſo müſſen die Wirkungen völlig aufgehoben werden; ſind ſie gleich dick und gleich lang, aber die Metalle ungleich leitend, ſo wird die Wirkung des beſſer leitenden ſich dadurch kenntlich machen, daß die Magnetnadel nach der Seite abgelenkt wird, wohin der ſtärkere Strom im beſſer leitenden Metalle ſie abzuweichen nöthigt; giebt man aber dem beſſer leitenden Metalle nach und nach eine größere Länge und vermehrt ſo den Leitungswiderſtand, ſo bringt man immer näher eine Gleichheit beider Ströme hervor, und wenn man fände, daß der eben ſo dicke Silberdraht ſechsmal ſo lang als der Platindraht ſeyn müßte, um die Gleichheit der Ströme zu bewirken, ſo würde man dem Platin einen 6mal größern Leitungswiderſtand als dem Silber beilegen.

Einwirkung der Reibungselectricität auf die Magnetnadel.

Bei mehreren Verſuchen, die man angeſtellt hatte, um die Einwirkung eines Stromes der durch Reibung erregten Electricität auf die Magnetnadel zu beobachten, konnte man mit dem Multiplicator keine ſolche bemerken und wußte ſich dieſe Verſchiedenheit nicht recht zu erklären. Colladon hat aber gezeigt, daß ſich die Wirkung allerdings wahrnehmen läßt, wenn man nur hindert, daß die mit zu ſtarker Spannung die Iſolirungen durchbrechende Electricität von einer Windung des Multiplicators zur andern übergeht. Colladon wandte einen mit doppelter Seide genau umſponnenen Multiplicatordraht an, und ließ eine electriſche Batterie von 4000 Quadratzoll Oberfläche nur ſo ſchwach laden, daß man an dem Electroſcop der Flaſchen eine geringe Divergenz bemerkte. Wurde nun das eine ſpitzig auslaufende Ende des Multiplicatordrahtes dem Knopfe der Batterie, iſolirt gehalten, genähert, während das andre Ende an der äußern Belegung anlag, ſo zeigte die Ablenkung der Magnetnadel den electriſchen Strom an, und zwar fand dieſe Ablenkung nach entgegengeſetzten Seiten ſtatt, wenn die Enden der Drähte vertauſcht wurden und dadurch die Richtung des Stromes eine entgegengeſetzte wurde. Auch der durch Drehung einer Electriſirmaſchine hervorgebrachte Strom von Electricität vom geladenen Leiter zum iſolirten Reibzeuge zurück brachte, wenn er durch den Multiplicatordraht geleitet wurde, eine Ablenkung der Nadel

hervor, und endlich ließ ſich auch bei einem herannahenden Gewitter die atmoſphäriſche Electricität auf dieſe Weiſe wahrnehmen, als man eine hoch ſtehende, iſolirte Metallſpitze ſo mit dem Multiplicator in Verbindung ſetzte, daß die von jener aus der Atmoſphäre angenommene Electricität durch den Multiplicator zur Erde geleitet wurde.

Der Electromagnetismus als bewegende Kraft.

Der Erſte, welcher den Gedanken, die magnetiſche Anziehung und Abſtoßung zur Bewegung von Maſchinen anzuwenden, nicht nur faßte, ſondern zu verwirklichen verſuchte, ſcheint Schultheß in Zürich geweſen zu ſeyn, der jedoch durch den Tod an der Vollendung ſeines Unternehmens gehindert wurde. Nachher beſchäftigte ſich Jacobi in Petersburg, ſchon oben als Erfinder der Galvanoplaſtik genannt, mit derſelben Aufgabe und kam der Löſung derſelben ungleich näher. Die erſte von ihm erſonnene Maſchine iſt ſehr einfach und hat im Allgemeinen folgende Einrichtung. An einer verticalen, um eine horizontale Axe drehbaren großen Holzſcheibe ſind ſenkrecht gegen die Ebene derſelben 4 Hufeiſen von weichem Eiſen angebracht, deren im Kreiſe geſtellte Enden bei Umdrehung der Scheibe vor den Enden von 4 andern Hufeiſen vorübergehen, die an einem unbeweglichen Holzgeſtelle befeſtigt ſind. Alle dieſe Hufeiſen, die beweglichen wie die feſten, ſind durch Umwickelung mit dem Schließungsdraht einer galvaniſchen Kette zu Electromagneten gemacht, und zwar ſo, daß im Kreiſe herum Nord- und Südpol mit einander abwechſeln. Wenn nun die gegenſeitige Stellung der feſten und beweglichen Magnete ſo iſt, daß jeder Nordpol der Scheibe zwiſchen einem Nord- und einem Südpol der unbeweglichen Magnete ſteht, ſo wird er von dem erſtern abgeſtoßen und von dem letztern angezogen. Daſſelbe wird ſich aber nicht nur bei allen Nordpolen wiederholen, ſondern auch ebenſo bei allen Südpolen der Scheibe, deren jeder von dem nächſten Südpole der unbeweglichen Magnete abgeſtoßen, von dem nächſten Nordpole aber angezogen wird. Da nun offenbar alle dieſe Anziehungen in derſelben Richtung ſtatt finden und alſo zuſammen wirken, ſo müſſen ſie eine Umdrehung der Scheibe hervorbringen, die aber eigentlich nur ſo lange dauern kann, bis überall im Kreiſe herum die ungleichnamigen Pole ſich genau gegenüber ſtehen. Dann findet nämlich überall nur Anziehung ſtatt und zu fernerer Bewegung iſt kein Grund mehr vorhanden. Wenn aber gerade in dieſem Augenblicke die Pole aller beweglichen oder aller feſten Magnete umgekehrt werden, ſo ſtehen überall die gleichnamigen Pole einander gegenüber, die ſich abſtoßen, was eine fortdauernde Umdrehung der Scheibe in derſelben Richtung zur Folge hat. Zwar könnte man einwenden, daß auch dann, wenn die gleichnamigen Pole ſich gerade gegenüber ſtehen, kein Grund vorhanden zu ſeyn ſcheint, warum die Scheibe ſich lieber nach der einen als nach der andern Seite umdrehen ſollte; aber über dieſen ſogenannten todten Punkt hinaus wird die Scheibe durch die Schwungkraft, welche ſie bereits erlangt hat, geführt. Daß nun die Umdrehung der Scheibe von ihrer

Welle aus auf andre in Bewegung zu ſetzende Maſchinentheile fortgepflanzt werden kann, braucht kaum erſt erinnert zu werden.

Hier bleibt aber zunächſt noch die Frage zu beantworten: wie denn die hierbei erforderliche beſtändige Umkehrung der Magnetpole bewirkt werden kann? Dieß geſchieht aber durch eine gleichfalls von Jacobi erfundene, nachher mehrfach abgeänderte, ſehr ſinnreiche Vorrichtung, von ihm Commutator genannt, welche im Weſentlichen folgende Einrichtung hat. Auf derſelben Welle, welche die im Vorigen erwähnte Holzſcheibe trägt, befinden ſich vier metallene Scheiben O, P, Q, R, welche zwar durch Holz von der Welle iſolirt, aber mit einander paarweiſe, nämlich O mit P und Q mit R, metalliſch verbunden ſind. Bei jeder Scheibe iſt, wie bei O (X. Fig. 10) der Umfang in acht gleiche Theile getheilt. Bei vier dieſer Achtel U, U, U, U, welche abwechſelnd liegen, iſt ein Stück Metall herausgeſchnitten und durch Ebenholz ſo erſetzt, daß die Kreisform der Scheibe unverändert geblieben iſt. Auf jeder dieſer Scheiben liegt ein leicht beweglicher Hebel von Metall, der über den Umfang derſelben mit dem in eine Schneide auslaufenden längern Arme V leicht hinweggleitet, während einer Umdrehung viermal mit der Scheibe in metalliſcher Berührung, viermal aber durch Holz iſolirt iſt und mit dem andern Arme X in ein Gefäß mit Queckſilber taucht. Die vier Scheiben ſind ſo geſtellt, daß die Metall- und Holzſectoren bei O und Q, ſowie bei P und R ſich genau entſprechen, d. h. Metall und Metall, Holz und Holz ſich gegenüberſtehen, während bei O und P, ebenſo bei Q und R immer ein Metall- und ein Holzſector einander gegenüberſtehen; wenn alſo die Hebel der Scheiben O und Q auf Metall liegen, liegen gleichzeitig die bei P und R auf Holz und ebenſo umgekehrt. Die Queckſilbergefäße S, S des erſten und vierten Hebels ſind mit einander leitend verbunden, ebenſo die Gefäße T, T, in welche der zweite und dritte Hebel tauchen; die gedachten Gefäße ſtehen aber wieder mit den Polen des galvaniſchen Apparates in Verbindung und zwar z. B. S, S mit dem Kupfer-, T, T aber mit dem Zinkpole, während das eine Ende der die eine Abtheilung von Hufeiſen (wir wollen annehmen die vier beweglichen) umkreiſenden Drahtwindungen mit dem Scheibenpaare OP, das andre mit dem Scheibenpaare QR verbunden iſt. Liegen nun die Hebel der Scheiben O, Q z. B. auf Metallſectoren, ſo ſteht O und das damit verbundene Drahtende mit dem Kupferpole, Q aber, alſo auch R und das damit verbundene Drahtende, mit dem Zinkpole in Verbindung. Nach einer Drehung der Hauptſcheibe und zugleich aller vier Commutatorſcheiben um 45 Grad liegen die Hebel der Scheiben O, Q auf Holz, dagegen die der Scheiben P, R auf Metall, daher ſteht P und folglich auch O mit dem Zinkpole, R mit dem Kupferpole in Verbindung und die Pole der beweglichen Magnete ſind demnach ſämmtlich umgewendet. So wird durch die Maſchine ſelbſt 8mal während jeder Umdrehung der großen Holzſcheibe die Umkehrung der Pole bewirkt, welche wieder ihrerſeits jene Umdrehung zu erhalten dient.

Unter Leitung des Prof. Jacobi wurden in Petersburg ſeit dem J. 1837

Verſuche über Anwendung des Electromagnetismus als Triebkraft für Maſchinen im Großen angeſtellt, die aber noch kein entſcheidendes practiſches Reſultat geliefert haben, wiewohl es jenem gelungen iſt, durch dieſe Kraft ein Boot auf dem Meere in Bewegung zu ſetzen. Zuerſt geſchah dieß am 25. Sept. 1838 mit einem Boote von 26 F. Länge und 8½ F. Breite, auf welchem ſich 12 Perſonen befanden; die Batterie beſtand aus 320 Plattenpaaren. Es gelang ſelbſt gegen den Strom zu fahren; im ruhenden Waſſer betrug die Geſchwindigkeit 3 Fuß in der Secunde. Gegenwärtig iſt die allgemeine Aufmerkſamkeit auf die Verſuche gelenkt, welche in Deutſchland angeſtellt werden, um auf Eiſenbahnen laufende Wagen durch die neue Kraft in Bewegung zu ſetzen. Zwar war dieß ſchon im J. 1835 den Holländern Stratingh und Becker und faſt gleichzeitig dem Phyſiker Botto in Turin gelungen, aber jenen nur mit einem ſehr kleinen Wagen, welcher keine Vortheile gewähren konnte; Botto's Maſchine war zwar größer, übte aber doch nur den 25ſten Theil einer Pferdekraft aus. Größere Reſultate ſcheinen die Verſuche des Mechanicus Wagner in Frankfurt am Main zu verſprechen, dem auf den Fall des Gelingens für die Veröffentlichung der von ihm angewandten eigenthümlichen Conſtruction einer electromagnetiſchen Locomotive vom deutſchen Bundestage eine anſehnliche Belohnung zugeſagt worden iſt.[1] Gleichzeitig hat ſich Stöhrer in Leipzig mit Erfolg mit der Conſtruction electromagnetiſcher Maſchinen beſchäftigt und dabei die Daniell'ſche oder conſtante Kette angewandt; ſpäter hat auch Bauer in Nürnberg eine electromagnetiſche Maſchine conſtruirt. Ein Haupthinderniß, das der Benutzung und öconomiſchen Vorzüglichkeit ſolcher Maſchinen im Großen im Wege ſtehen dürfte, iſt die ſtarke, mit der erzeugten Kraft im Verhältniß ſtehende Zinkconſumtion in der Batterie, da der aus dem Zink erzeugte Zinkvitriol ein faſt ganz werthloſes Produkt iſt. Noch läßt ſich indeß nicht angeben, wie groß die Zinkconſumtion für jede Pferdekraft iſt, woraus ſich erſt ein beſtimmter Schluß über die Koſtſpieligkeit der neuen Kraft im Vergleich zur Dampfkraft ziehen ließe. In Nordamerica ſoll man ſchon ſeit längerer Zeit electromagnetiſche Maſchinen anwenden; namentlich haben dort Callan und Davenport ſich mit Vervollkommnung derſelben beſchäftigt und eine von dem letztern verfertigte Maſchine ſoll in Neuyork zum Drucken einer Zeitung verwandt werden; doch fehlt es hierüber an genauen und zuverläſſigen Nachrichten.

Andre Einrichtung des Commutators.

Da es bei Anſtellung electromagnetiſcher Verſuche und bei practiſcher Benutzung des Electromagnetismus oft nöthig iſt, die Richtung des electriſchen Stromes ſchnell und leicht in die entgegengeſetzte zu verwandeln, ſo mag hier noch eine andre, viel allgemeiner anwendbare Einrichtung eines zu dieſem Zwecke dienenden Hülfsapparates, des ſogenannten Commutators oder Gyrotrops,

[1] Nach den neueſten Nachrichten hat Wagner ſein Ziel nicht oder wenigſtens nur unvollkommen erreicht, weßhalb ihm auch die vom Bundestage ausgeſetzte Belohnung nicht zu Theil werden wird. (M.)

mitgetheilt werden (X. Fig. 11 u. 12). Auf einem viereckigen Brete, das auf den Fuß der electromagnetiſchen Apparate geſtellt werden kann, befinden ſich die beiden Rinnen r und r′, außerdem die Löcher v und v′, t und t′. Die letzteren ſind paarweiſe und zwar diagonal durch Metallſtreifen verbunden, nämlich v und v′ durch l, t und t′ durch m, jedoch ſo, daß dieſe Streifen ſich nicht berühren, ſondern durch Luft oder einen andern Nichtleiter getrennt ſind. Die Rinnen und Löcher ſind gefirnißt und mit Queckſilber gefüllt. Um die Axe a (Fig. 12) läßt ſich ein doppelter Hebel oder Schwengel drehen, welcher von Holz iſt, aber vier metallne Bügel oder Leitungsbogen c und c′, d und d′ trägt. In der Figur ſind die Hebel ſo geſtellt, daß c in r und v, c′ in r′ und t taucht, mithin r mit v und r′ mit t leitend verbunden iſt. Taucht nun der von einem electromotoriſchen Apparate kommende poſitive Poldraht in r, der negative in r′, ſo wird der poſitive Strom von v nach v′ und in den Metallſtreifen b′, der negative von t nach t′ und in den Metallſtreifen b geleitet. Werden die Hebelarme d, d′ niedergedrückt, ſo iſt r mit t′, r′ mit v′ in leitender Verbindung, und der poſitive Strom wird alſo nach b, der negative nach b′ geleitet, mithin die Richtung des Stromes in dem b und b′ verbindenden Leitungsdrahte völlig umgekehrt.

Achtundſiebenzigſte Vorleſung.

Faraday's Entdeckung der electriſch-magnetiſchen Rotationen.

Die meiſten Verſuche, von denen ich Sie bis jetzt unterhalten habe, bezogen ſich auf horizontale Leitungsdrähte oder auf Drähte, die in ſchraubenförmigen Windungen dem electriſchen Strome zahlreiche Umkreiſungen geſtatteten. Die Wirkungen eines einzelnen neben der Magnetnadel herabwärts oder hinaufwärts gehenden electriſchen Stromes ſchienen ſich nach den bisherigen Angaben immer ziemlich leicht beſtimmen zu laſſen; aber dennoch bieten ſich hier ganz neue Erſcheinungen dar, die von Faraday zuerſt beobachtet worden ſind.

Wenn die horizontale Magnetnadel ſich in ihrer natürlichen Stellung im magnetiſchen Meridiane befindet, ſo muß, allen bisher betrachteten Erſcheinungen zufolge, ein an ihrer Oſtſeite herabwärts gehender electriſcher Strom ſie anziehen, ein an ihrer Weſtſeite herabwärts gehender aber ſie abſtoßen. Dieſes findet ſich auch wirklich ſo; aber wenn man den Leitungsdraht an der Seite der Magnetnadel nahe bis an die Enden bringt, ſo kehrt ſich die Wirkung um und die Anziehung des an der Oſtſeite herabgehenden Stromes geht in Abſtoßung über. Dieß beruht offenbar auf der ſchon früher erwähnten Entfernung des wahren Poles der Nadel von ihrem Ende, wodurch (XVI. Fig. 23) es ſich ſo verhält, als ob sN ein kleiner Magnet mit dem Nordpole in N, dem Südpole in s wäre, und als ob die nach Ampère

anzunehmenden Umkreiſungen zwar in der Mitte des Magnetes ihre volle Wirkſamkeit zeigten, an den äußerſten Enden aber ein umgekehrter Erfolg einträte. Jene Beobachtung führt nun zu der Ueberzeugung, daß ein beweglicher Leitungsdraht eine Bewegung um den Pol der Magnetnadel anfangen muß; denn ein verticaler hinaufgehender Strom, deſſen bloßen Querſchnitt ich in A zeichne, weil der Draht ſenkrecht gegen die Ebene des Papieres gehen ſoll, wird durch die Abſtoßung in der Gegend B nach AC fortrücken, weil offenbar die abſtoßenden Ströme um die Mitte des Magnetes wirkſamer ſind, als die wenigen zwiſchen B und N liegenden, und daher ein Fortrücken nach dem Ende hin veranlaſſen; iſt aber A bis neben N gekommen, ſo geht er weiter dem Ende zu und wird zugleich angezogen. So fängt er alſo an, den wahren Nordpol N zu umkreiſen, und würde auch auf der andern Seite dieſen Umlauf fortſetzen, wenn gleich das Anſtoßen an den Magnet wiederholte Umläufe hindert. Dieß war die erſte Ueberlegung, die zu einer Kenntniß der von ſelbſt entſtehenden Rotationen führte, welche Faraday ſogleich noch vollkommener darſtellte, die wir aber nun mit andern Betrachtungen in Verbindung ſetzen wollen.

Ampère's fernere Unterſuchungen über die gegenſeitigen Wirkungen electriſcher Ströme.

Ampère bemerkte nämlich ſogleich, daß die von ihm gefundenen Anziehungen und Abſtoßungen electriſcher Ströme dieſe Rotationen als nothwendigen Erfolg unter beſtimmten Umſtänden angäben. Um dieſes mit der völligſten Ueberzeugung einzuſehen, braucht man nur zu überlegen, was geſchehen wird, wenn (XVI. Fig. 23) der electriſche Strom AB, der gegen den zweiten electriſchen Strom CD zu fließt, ſo angeordnet iſt, daß er eine mit CD parallele Bewegung annehmen kann. Die Anziehung und Abſtoßung electriſcher Ströme befolgt, wie Sie ſchon wiſſen, das Geſetz, daß ſie ſich anziehen, wenn beide gegen die Spitze des Winkels E zu fließen, aber ſich abſtoßen, wenn einer gegen dieſe zu, der andre von ihr abwärts ſtrömt; die Wirkung des Stromes ED auf AB iſt alſo eine andre als die Wirkung des Stromes CE. Wenn man die Wirkung gleich entfernter Punkte m, n auf einen Punkt l betrachtet, ſo iſt die Wirkung von n nach nl abſtoßend, die Wirkung von m nach lm anziehend; die eine und die andre tragen daher bei, den Strom AB nach lk hin zu treiben, und dieſer Strom muß, wenn er keine andre Richtung annehmen, wohl aber von AB nach ab fortrücken kann, zu dieſem Fortrücken angetrieben werden. Ampère nennt hier den Strom CD unbegrenzt, den Strom AB begrenzt, weil es erforderlich iſt, daß der erſtere an beiden Seiten entgegengeſetzt wirke, AB dagegen ſich nicht bis an den Durchſchnittspunkt E oder bis über ihn hinaus erſtrecke, indem, wenn dieß geſchähe, die fortrückende Bewegung (wegen entgegengeſetzter Einwirkung auf beide Enden) nicht eintreten würde. Unſre Betrachtungen ergeben alſo die Regel, daß ein begrenzter Strom AB, der gegen den unbegrenzten CD zu fließt, neben dieſem in einer der Richtung des letztern entgegengeſetzten

Richtung fortgetrieben wird oder auf dem unbegrenzten Strome zurück rückt; und ganz ebenſo erhellt, daß, wenn der Strom AB von dem unbegrenzten Strome CD abwärts flöſſe, jener ein Beſtreben haben würde, dieſen zu begleiten, weil jetzt der Theil ED anziehend, CE dagegen abſtoßend wirken würde.

Unter den unbegrenzten Strömen verdienen die kreisförmig in ſich ſelbſt zurückkehrenden Ströme vorzügliche Beachtung. Tritt hier (XVI. Fig. 25) der Strom bei A ein und macht nach der Richtung ABCD einen oder mehrere von einander iſolirte Umläufe, indem er von D wieder weiter geleitet wird, ſo werden alle Theile eines zweiten von E nach C fließenden Stromes nach B zu angezogen, von b her dagegen abgeſtoßen, und der Strom EC hat, wenn er beweglich iſt, ein Beſtreben auf CB zurück zu gehen; ein von C nach E gehender Strom würde dagegen, weil der Strom Cb ebenſo wie CE von C abwärts ginge, nach b vorwärts gezogen werden. Solche um den Mittelpunkt des Kreiſes ABCD bewegliche Ströme laſſen ſich bequem darſtellen und daher läßt ſich die Erſcheinung des Fortrückens hier wirklich zeigen.

Wäre nicht EC beweglich, ſondern der kreisförmige Strom ſo aufgehängt, daß er ſelbſt ſich um ſeinen Mittelpunkt drehen könnte, ſo würde, wenn in EC der Strom von E nach C fließt, der Ring ABCD zu einer Rotation angetrieben werden, und zwar nach derſelben Richtung, nach welcher ſich der Strom im Ringe fortbewegt; denn da die Ströme EC, BC beide nach der Spitze des Winkels C gehen, ſo ziehen ſie einander an, das heißt, alle gegen B zu liegende Theile werden nach EC hin gezogen, alſo zur Drehung von B nach C angetrieben, wogegen alle bei b liegenden Theile abgeſtoßen, nach der Richtung Cb vorwärts getrieben werden, weil Cb von der Spitze C hinweg, EC gegen die Spitze C zu fließt.

Dieſen letztern Satz hat Savary durch einen Verſuch nachgewieſen, den man leicht verſteht, wenn man bedenkt, daß im Metalle die Leitung viel ſchneller als im Waſſer iſt und daß daher das von Waſſer umgebene Metall dennoch einen electriſchen Strom in ſich fortleitet. Savary's Anordnung des Verſuches fordert einen ſtarken voltaiſchen Apparat, damit ein recht kräftiger Strom entſtehe. Das Inſtrument (XVI. Fig. 26) beſteht aus einem flachen, kreisförmigen Metallgefäße AB, deſſen Boden im Centrum durchbohrt iſt und eine durch Glas iſolirte Metallſäule IH durchläßt, auf deren Gipfel in einem mit Queckſilber gefüllten Schälchen die Metallſpitze U ruht, die einen an dem Bügel LGF hängenden Metallring FDE trägt. Dieſer Ring iſt bei F ſo unterbrochen, daß ein iſolirender Körper die beiden Enden des Metallreifens trennt; vom Ende des Metalles aber geht ein metalliſcher Leiter FGU nach der Spitze zu, ſtatt daß die andre Hälfte des Bügels LM aus Nichtleitern beſteht. K und C ſind die beiden Punkte, wo die electriſchen Ströme eintreten können. Iſt nun das Gefäß AB mit geſäuertem Waſſer gefüllt und der Metallreifen FDE in daſſelbe (ohne das Gefäß zu berühren) eingetaucht, ſo wird der bei C eintretende electriſche Strom auf alle Punkte des Gefäßes AB übergehen und, weil er hier keine Ableitung findet, durch das Waſſer

überall zu dem Metallringe hinübergehen. Dieſe Ströme ſind begrenzte Ströme, die ſich nur bis an den Ring erſtrecken, aber, ſo wie ſie den Ring erreichen, der beſſern Leitung wegen zu ihm übergehen und in ihm von D nach F von E über D nach F, ſämmtlich in einerlei Richtung fließen, weil ſie nur dieſſeits der iſolirenden Unterbrechung durch FG nach H und ſo durch HIK zum andern Pole der Säule gelangen können. Da der Metallring ſo aufgehängt iſt, daß er ſich um die feine Spitze U mit vollkommener Leichtigkeit drehen kann, ſo iſt der kreisförmige Strom EDF ein beweglicher und er fängt daher an ſo zu rotiren, daß D nach F rückt, weil die von D im Ringe nach F zu fließenden Theile des electriſchen Stromes durch die im Waſſer gegen D zu fließenden Theile fortgeſtoßen, die jenſeits D liegenden aber herangezogen werden und dieſes nicht bloß für D, ſondern für jeden Punkt des Ringes gilt. Dieſes Rotationsinſtrument wird einerlei Drehung geben, man laſſe den poſitiven Strom bei C einfließen und bei K ausfließen oder umgekehrt, indem im letztern Falle die ſämmtlichen Ströme die entgegengeſetzten Richtungen haben und daher eben die Wirkung hervorbringen. Das Gelingen dieſes Experiments zeigt alſo deutlich, daß das Anziehen und Abſtoßen der electriſchen Ströme auch dieſe Wirkung, die man nach dem Princip der Zerlegung der Kräfte erwarten durfte, in der That hervorbringt. [1]

Ich könnte nun ſogleich zur Anwendung des Magnetes übergehen, aber um alle Umſtände genau zu erſehen, erlauben Sie mir noch eine Erweiterung der bisherigen Theorien beizufügen. Auch ein vertical herabgehender Strom wird von einem horizontalen kreisförmigen Strome zur rotirenden Bewegung angetrieben, nur darf jener nicht tiefer herabgehen, als der horizontale Kreisſtrom, damit nicht die Wirkung des untern Theiles die des obern vernichte. Erſtreckt ſich aber der herabgehende Strom ED (XVI. Fig. 27) bloß bis D, ſo wird er gegen die nachfolgenden Theile des Kreisſtromes angezogen und von den ſchon vorbeigefloſſenen Theilen AB zurückgeſtoßen; er geht alſo nach der Richtung, welche der Richtung des Stromes ſelbſt entgegen iſt, von A nach C um den Kreisſtrom herum; ein von D nach E hinaufwärts gehender Strom würde dagegen Umläufe von A gegen B vollenden, weil die von den nächſten Punkten A, D beider Ströme abwärts gehenden Ströme ſich anziehen. Daß dieſe Anziehung nach ſchiefer Richtung geſchieht, dennoch aber, durch Zerlegung der Kräfte, wie die Statik ſie lehrt, die eben angegebene Wirkung hervorbringt, läßt ſich leicht überſehen.

Magnetiſch-electriſche Rotationen.

Die Uebereinſtimmung zwiſchen umkreiſenden electriſchen Strömen und dem Magnete findet ſich nun auch hier wieder beſtätigt. Wenn man einen Magnet vertical ſtellt und zwar mit dem Nordpole oben, ſo legten wir ihm umkreiſende electriſche Ströme bei, die in dieſem Falle von Norden nach Weſten,

[1] Dieſes Experiment bedarf eines ſtarken electriſchen Stromes wegen des Erdmagnetismus (auf den ich noch zurückkomme), deſſen Einwirkung überwunden werden muß.

Süden, Oſten laufen. Befindet ſich alſo in dem Glascylinder AB (XVI. Fig. 28) unten bei NS ein verticaler Magnet mit dem Nordpole oben, umgeben von einer Queckſilbermaſſe, die den untern Theil des Cylinders ſo füllt, daß der Magnet nur wenig hervorragt, ſo wird, wenn der in das Queckſilber tauchende Draht CD den poſitiv-electriſchen Strom herunterwärts leitet, dieſer Draht Umläufe um den Magnet von Norden nach Oſten, Süden machen, ein hinaufwärts gehender Strom dagegen wird, wenn der Nordpol N oben bleibt, die entgegengeſetzte Rotation zeigen; jener geht nämlich neben dem den Magnet umkreiſenden Strome rückwärts, der hinaufwärts gehende folgt dem umkreiſenden Strome. Daß der Südpol oben alle Erſcheinungen umgekehrt hervorbringen muß, verſteht ſich von ſelbſt. Dieſe Erſcheinungen wurden ſogleich nach Faraday's Entdeckung theils von ihm, theils von Gay-Luſſac und Ampère dargeſtellt; ſie erfordern indeß eine nicht zu ſchwache Kraft des voltaiſchen Stromes und reines Queckſilber, um die Hinderniſſe der Bewegung zu vermindern. Es iſt hier ſowohl der von C nach D herabgehende als der von D nach N durch das Queckſilber gehende poſitive Strom, der auf dem umkreiſenden Strome gegen die Seite, von welcher der Strom kömmt, angezogen wird.

Noch überraſchender, weil das Inſtrument keiner beſondern voltaiſchen Säule bedarf, ſondern ſelbſt durch eine einfache Kette den electriſchen Strom hervorbringt, ſind die Verſuche mit einem von Ampère angegebenen, nachher von Andern in Rückſicht der Form noch verbeſſerten Inſtrumente, das aus einem Kupfergefäße und einem darin zur Drehung kommenden Zinkreifen beſteht. Es ſey (XVI. Fig. 29) AB dieſes Kupfergefäß, in deſſen Boden der eine Pol N eines ſtarken Magnetes befeſtigt iſt. Der in der Mitte erhöhte Boden umgiebt den Magnet und trägt die Säule I, die oben auf einer feinen Spitze den Bügel LIM trägt, an welchem unten der kreisförmige Zinkreifen PQ befeſtigt iſt. Füllt man nun das Gefäß mit geſäuertem Waſſer, ſo geht vom Kupfergefäße der poſitive Strom durch die in der Mitte ſtehende Säule aufwärts, in beiden Theilen des Bügels aber herabwärts vom Kupfer gegen das Zink und von allen Punkten des Zinkreifens durch das geſäuerte Waſſer dem Kupfergefäße zu. Da das Gefäß in der Mitte einen ſo erhöhten Boden hat, daß das geſäuerte Waſſer dieſes nur ringförmig umgiebt, wie der Durchſchnitt (Fig. 29) zeigt, ſo ſind es vorzüglich die von P nach N und von Q nach N, das iſt, von allen Punkten des Zinkreifens nach dem Kupfer zu durch das Waſſer gehenden Ströme, die, als dem Magnete am nächſten, hier wirkſam ſind; ſie ſowohl als die in den Armen des Bügels herabgehenden Ströme ſind, als gegen die umkreiſenden Ströme des Magnetes zu gerichtet, geneigt, nach der Richtung zu rotiren, welche den Umkreiſungsſtrömen des Magnetes entgegengeſetzt iſt, alſo von Norden nach Oſten, Süden, Weſten, wenn der Nordpol oben iſt. Bringt man, wie die Figur zeigt, um den Südpol S eines gekrümmten Magnetes genau eben die Einrichtung an, ſo geräth dort der Bügel mit dem Reifen in eine Rotation, die der bei N entgegengeſetzt iſt.

Setzt man dagegen auf die Pole des Magnetes Zinkgefäße, in denen an dem Bügel ein Kupferreifen schwebt, so sind die Drehungen den vorigen entgegengesetzt, weil nun der vom Kupferringe zum Zink gehende Strom in den Seiten des Bügels aufwärts, dann von I gegen das in der Mitte befindliche Zink, ferner im Wasser von der Mitte abwärts gegen den Kupferreifen geht, die Ströme aber, die wir dem Magnete beilegen, ungeändert bleiben.

Dieses leicht gelingende Experiment, welches bloß feine Spitzen zum Aufhängen bei I, sorgfältige Reinigung von allem Oxyde und Schmutze an der Stelle, wo bei I der Uebergang erfolgen soll, und einen nicht zu schwachen Magnet fordert, gehört zu den auffallendsten, weil diese von selbst entstehenden, mit völliger Sicherheit nach bestimmten Richtungen entstehenden Rotationen so ganz ohne künstliche Nachhülfe, bloß durch eingegossenes Wasser, hervorzugehen scheinen.

Man kann auf ähnliche Weise einen verticalen Magnet um einen Leitungsdraht sich bewegen lassen. Wird nämlich (XVI. Fig. 30) der Magnet NS durch ein unten daran befestigtes Stück Platin in Quecksilber schwimmend vertical erhalten, so wird er durch den in AB herabgeleiteten electrischen Strom, der in dem Quecksilber Strömungen von B abwärts bewirkt, theils in drehende, theils in umlaufende Bewegung gesetzt. Was die erstere betrifft, so ist es offenbar, daß der herabgehende Strom AB auf die Theile DC der umkreisenden, von D nach C gehenden Ströme anziehend wirkt, und daher D nach C zu führen, eine Drehung des Magnetes um seine Axe zu bewirken strebt; die Umlaufsbewegung aber wird durch alle von B durch das Quecksilber gehenden horizontalen Ströme befördert. Diese sind sämmtlich, wenn AB herunterwärts geht, abwärts von B gegen das Gefäß gerichtet; einige gehen, wie BL, an der Seite des Magnetes vorbei, wo die Richtung der Umkreisungsströme des Magnetes mit ihnen übereinstimmt, und diese ziehen also die Umkreisungsströme und den Magnet selbst an; andre, wie BM, gehen an der Seite des Magnetes vorbei, wo die Umkreisungsströme DC die ihnen entgegengesetzte Richtung haben, und sie stoßen daher diese Ströme und den Magnet selbst ab, der sich also nach der Seite BL zu vorwärts bewegt; andre BN treffen den Magnet und ihr zunächst an B liegender Theil zieht die gegen D liegenden Punkte des Magnetes vorwärts, ihr zunächst an N liegender Theil zieht gleichfalls die an der Seite D liegenden Punkte heran, beide also tragen bei, den Magnet nach BL zu fortzuziehen, da bei B der herankommende Strom auf die hinterwärts bei D liegenden Theile anziehend und bei N der abwärts gehende Strom auf die bei D liegenden Theile gleichfalls anziehend wirkt.

Man hat diesen Rotationsapparaten die mannigfaltigsten Einrichtungen gegeben, indem z. B. Sturgeon den Magnet selbst durch einen electrischen Strom, der einen weichen Eisenstab umkreist, erst hervorbringt und ihn dann seine magnetische Einwirkung ausüben läßt; indem Leuthwaite gleichzeitig ein Umlaufen des Magnetes um den Leitungsdraht und des Drahtes um den Magnet statt finden läßt; indem Pouillet den in der Mitte bleibenden Magnet

ſelbſt als Leiter gebraucht und ihn in eine Rotation um ſeine eigne Axe ſetzt; indem Schweigger zwei Nadeln mit entgegengeſetzten Strömen über einem und demſelben Magnetpole zu entgegengeſetzten Rotationen bringt; indem Barlow ſogar ein größeres Rad damit umtreibt u. ſ. w.; aber ich glaube genug gethan zu haben, indem ich Ihnen einige Anordnungen gezeigt habe, die dieſe — man darf wohl ſagen, wunderbaren — Erſcheinungen vor Augen legen. Ich übergehe daher auch die electromagnetiſchen Bewegungen, die Davy, Schweigger und Andre im Queckſilber ſelbſt, wenn es electriſchen Strömen zum Leiter dient, unter dem Einfluſſe des Magnetes haben entſtehen ſehen.

Rotationsbewegungen unter dem bloßen Einfluſſe des Erdmagnetismus.

Dagegen muß ich wenigſtens einen derjenigen Verſuche erzählen, wo electriſche Leiter ohne Magnet und ohne Einwirkung eines zweiten electriſchen Stromes in eine rotirende Bewegung geſetzt werden; dieſe Verſuche geben uns Veranlaſſung, dem Erdmagnetismus eben die Wirkung wie electriſchen Strömen, die wir uns als die Erde umkreiſend denken, beizulegen. Schweigger hat folgenden ſehr belehrenden Verſuch angegeben. AB (XVI. Fig. 31) iſt ein flaches Gefäß, das mit einer leitenden Flüſſigkeit gefüllt iſt. Die Leitungsdrähte KEC, ZFD führen, durch Glasröhren von dieſem flüſſigen Leiter getrennt, den poſitiven electriſchen Strom von K nach C und leiten ihn von D nach Z wieder ab, ſo daß K die Kupferplatte, Z die Zinkplatte einer einfachen galvaniſchen Kette berühren müßte. Dieſer electriſche Strom findet ſeine Leitung von C nach D durch zwei auf den feinen Spitzen C, D horizontal vermittelſt metallener Hütchen aufgelegte Nadeln, die jede nur mit einem Ende, indem nämlich die am einen Ende gebogene Spitze die Flüſſigkeit berührt, den Strom in die Flüſſigkeit hinüber leitet oder aus ihm aufnimmt. Iſt der Apparat ſo angeordnet und tauchen die Spitzen n, q ein, während der entgegengeſetzte Theil der Nadeln ohne Eintauchung durch ein Gegengewicht das Gleichgewicht erhält, ſo durchläuft der poſitiv-electriſche Strom ſeinen Weg von K nach C, dann von C nach n in der Nadel vom Drehungspunkte abwärts, von n nach q in der Flüſſigkeit, von q nach D in der zweiten Nadel gegen den Drehungspunkt zu, und vollendet endlich von D nach Z ſeinen Kreislauf. Dieſe Nadeln ſieht man nun, ſobald der electriſche Strom in Thätigkeit geſetzt iſt, Umläufe um die Spitzen C, D nach entgegengeſetzten Richtungen machen und zwar ſo, daß die Nadel mn, in welcher der poſitive Strom vom Mittelpunkte abwärts geht, ſich von Weſten durch Süden nach Oſten dreht, die andre dagegen in umgekehrter Richtung.

Da hier weder ein andrer electriſcher Strom hervorgebracht iſt, noch auch ein Magnet einwirkt, ſo werden wir auf electriſche Ströme, welche die Erde ſelbſt umkreiſen mögen und vermuthlich die Urſache der magnetiſchen Erſcheinungen enthalten, geführt. Nach Ampère ſollen wir uns die Erde als mit electriſchen Strömen in der Gegend des Aequators von Oſten nach Weſten

umkreiſt vorſtellen, und wir müſſen nun ſehen, ob dieſe Hypotheſe den Erſcheinungen entſpricht. Da ein horizontaler electriſcher Strom, der von einem Mittelpunkte ausgehend nach Süden gerichtet iſt, gegen den Aequator zu geht, ſo wird die Anziehung der nachfolgenden, alſo öſtlichen Theile des den Aequator umkreiſenden Stromes dieſen Strom oder die Nadel, welche er durchläuft, von Süden nach Oſten ziehen; dagegen wird die nach Norden gerichtete, den Strom vom Aequator abwärts leitende Nadel von Norden nach Weſten, den vorangehenden Stromtheilen folgend, angezogen; die nach Oſten gerichtete Nadel wird, weil ihr Strom dem Strome des Aequators entgegengeſetzt iſt, abgeſtoßen nach Norden fortgehen, und in allen Lagen wird alſo die Nadel, in welcher der Strom vom Mittelpunkte ausgeht, eine drehende Bewegung von Norden nach Weſten, Süden, Oſten erlangen. Der entgegengeſetzte Fall erhellt dann von ſelbſt. [1]

Aber auch die Lagen, in welchen kreisförmige electriſche Ströme vermöge der Einwirkung der Erde zur Ruhe kommen, ſtimmen mit dieſer Hypotheſe überein. Wir haben nämlich oben geſehen, daß ein der Einwirkung der Schwere ganz entzogener ringförmiger electriſcher Strom ſich ſenkrecht auf die Richtung der Neigungsnadel zu ſtellen ſtrebt und zwar ſo, daß der von der nördlichen Seite der Neigungsnadel herabſteigende Strom an der öſtlichen Seite liegt; es kömmt alſo darauf an, zu ſehen, ob dieſe Stellung der electriſchen Ströme der Vorausſetzung von einem die Erde umkreiſenden electriſchen Strome entſpricht. Iſt dieſer ringförmige Strom nicht ganz genau in der Stellung, daß der von Norden herabwärts gehende Strom an der Oſtſeite liegt, ſo wird er als ein dem Erdäquator ſich nähernder Strom auf dieſem zurückgehen, das iſt, ſeine Lage ſo weit als möglich öſtlich nehmen, alſo die Oſtſeite einzunehmen ſtreben; dagegen wird der vom Erdäquator, vom Strome des Erdäquators, ſich entfernende Strom die Weſtſeite einnehmen. Wir können nun hinzuſetzen: ſind unſre Magnete und Magnetnadeln auf ähnliche Weiſe von electriſchen Strömen umkreiſet, ſo müſſen ſie die Seite, wo die electriſchen Ströme hinaufwärts gehen, nach Weſten wenden, und der die Erde umkreiſende von Oſten nach Weſten gerichtete electriſche Strom iſt die Urſache, warum in unſern Magnetnadeln der electriſche Strom an der obern Seite von Weſten nach Oſten, an der untern von Oſten nach Weſten geht.

Demnach ließe ſich der ganze Zuſammenhang der Ampère'ſchen Theorie ſo überſehen. Ein electriſcher poſitiver Strom umkreiſt die Erde in der Gegend ihres Aequators von Oſten nach Weſten. Die Magnetiſirung des Eiſens und Stahles beſteht in einer Erregung umkreiſender electriſcher Ströme um den magnetiſirten Stab und zwar ſo, daß die herabgehenden Ströme an der Oſtſeite ſind, wenn der Magnet ſeinen Nordpol nach Norden wendet. Unter dieſen Vorausſetzungen müſſen die Magnete auf einander und die Erde auf die Magnete ſo einwirken, wie es wirklich der Fall iſt, und es muß die

[1] Wie es ſich für Experimente, die in der ſüdlichen Halbkugel der Erde angeſtellt würden, verhält, läßt ſich leicht überſehen.

gegenſeitige Wirkung des Magnetes und der electriſchen Ströme und endlich die Einwirkung der Erde auf die electriſchen Ströme genau diejenigen Erfolge hervorbringen, die ich angeführt habe.

Ampère hat indeß, um den Erſcheinungen der Magnete noch vollſtändiger Genüge zu thun, noch eine andre Vorausſetzung hinzugefügt. Dieſelbe Erfahrung nämlich, die Coulomb und nachher Poiſſon bewog, die beiden magnetiſchen Materien zwar in jedem magnetiſchen Elemente des Körpers getrennt, nicht aber von einem Elemente zum andern übergehend und nicht auf der Oberfläche des ganzen Magnetes angehäuft anzunehmen, eben dieſe Erfahrung nöthigt auch Ampère, die electriſchen Umſtrömungen jedem einzelnen Elemente beizulegen und ſie nicht als die äußere Oberfläche des ganzen Magnetes umkreiſend anzuſehen. Offenbar läßt ſich gar wohl zeigen, daß dieſe Umkreiſungen, ebenſo gut als in der Theorie Poiſſon's die in jedem Elemente getrennten magnetiſchen Materien, eine Geſammtwirkung hervorbringen werden, die mit Umkreiſungen um den ganzen Magnet übereinſtimmt; — bei Poiſſon zerſtört ſich im Innern das Zuſammenwirken der einander nahe liegenden Nordpole und Südpole und es entſteht eine Geſammtwirkung ſo, als ob jene zwei Materien in den beiden Polen angehäuft wären; hier zerſtören ſich im Innern die Wirkungen der an zwei nächſten Theilchen in der Umkreiſung um das eine hinauf, um das andre hinab gehenden Ströme, aber alle dieſe Wirkungen vereinigen ſich ſo, als ob die Umſtrömungen um den ganzen Magnet liefen.

Einwürfe gegen Ampère. Transverſalmagnete.

Ampère's Theorie iſt nicht mit ſo allgemeinem Beifall aufgenommen worden, als es nach dieſer großen Uebereinſtimmung mit allen Erſcheinungen zu erwarten geweſen wäre. Einige Einwürfe gegen dieſelbe ſcheinen mir nach und nach von ſelbſt verſchwinden zu müſſen, indem das, was man über die nicht vollkommen conſequente Durchführung der Hypotheſe in den Anwendungen auf die ſich uns deutlich zeigenden Erſcheinungen geſagt hat, wohl bei recht genauer Unterſuchung als unbegründet erſcheinen wird. Ebenſo halte ich dafür, daß einzelne Erſcheinungen, die man als der Hypotheſe widerſprechend anſah, dieſes nicht ſind, wenn man, wie Ampère es lehrt, die geſammte Wirkung ins Auge faßt und nicht bei einzelnen Umkreiſungsſtrömen ſtehen bleibt. Diejenigen Einwürfe, die man davon hernehmen kann, daß ſchwerlich die Stellung aller Magnetnadeln auf der Erde ſich aus einem einzigen, in der Gegend des magnetiſchen Erdäquators die Erde umkreiſenden electriſchen Strome mit Genauigkeit möchten berechnen laſſen oder daß ſie ſchwerlich alle einem einzigen ſolchen Strome entſprechen, ſind gewiß nicht ungegründet. Noch wichtiger aber ſind wohl die Einwürfe, welche das innere Weſen des Magnetes betreffen. Sind auch alle Erſcheinungen ſo, als ob jene umkreiſenden Ströme vorhanden wären, ſo wird es uns doch ſchwer, kann man mit Recht ſagen, uns dieſe jedes Element umkreiſenden Ströme als wirklich zu

denken; wir begreifen nicht, wie dieſe Ströme, in unendlicher Nähe bei einander, in entgegengeſetzten Richtungen neben einander hin gehend, ſich nicht zerſtören; wir begreifen nicht, wie ſie im Eiſen plötzlich erzeugt und plötzlich vernichtet oder in entgegengeſetzte verwandelt werden, warum ſie im Stahle dauernd ſind, warum ſie in andern Körpern, die die Electricität weder beſſer noch ſchlechter leiten, gar nicht ſo entſtehen, wie es zur Hervorbringung eines Magnetes nöthig iſt. Dieſen Einwürfen kann man wohl nichts anderes entgegenſetzen, als daß wir überall, wo wir das innere Weſen der Körper erforſchen wollen, auf ähnliche Dunkelheiten gerathen, daß auch die andre Vorſtellung von kleinen magnetiſchen Partikeln, die wir uns, um die Erſcheinungen beſſer zu überſehen, machten, gar nicht frei von Schwierigkeiten iſt, und daß die Lehre vom Lichte und von der Wärme, wenn wir nach der eigentlichen Beſchaffenheit der Lichtmaterie und der Wärmematerie fragen, uns eben ſolche Schwierigkeiten darbietet. Dieſe Schwierigkeiten wegzuräumen hat Ampère ſich nicht bemüht, ſondern ſein eigentliches Beſtreben iſt nur auf eine mathematiſche Darſtellung der ſich wirklich deutlich zeigenden Erſcheinungen gerichtet geweſen, die er ſo durchgeführt hat, daß er wohl nicht mit Unrecht behauptet, jede künftige Hypotheſe werde ſich an ſeine Formeln anſchließen müſſen, weil dieſe mit ſtrenger Genauigkeit allen Thatſachen entſprechen. [1]

Was andre Theorien betrifft, ſo hat noch keine eine Anwendung auf alle Erſcheinungen geſtattet. Am meiſten Beifall ſchien die Meinung zu verdienen, welche den electriſchen Leitungsdraht als einen Transverſalmagnet betrachtet. Man verſteht unter einem Transverſalmagnet einen ſolchen Magnetſtab, der an der ganzen Seite Ss (XVI. Fig. 32) südpolariſch und an der ganzen Seite Nn nordpolariſch iſt. Solche Transverſalmagnete laſſen ſich allenfalls, obgleich ſchwierig, durch ein in der Querrichtung vorgenommenes Beſtreichen hervorbringen, aber auch (nach Schmidt's Anleitung) durch einen electriſchen Schlag, indem man einen Cylinder ganz dicht mit Stahldraht umwickelt und einen ſtarken electriſchen Funken durch die obere Seite deſſelben mit der Axe parallel gehen läßt, wo man das Ende, in welchem der Funke eintrat, zum Weſtende magnetiſirt, die Seite rechts [2] ſich nach Norden wendend findet. Es iſt offenbar, daß eine Magnetnadel unter einen ſolchen Quermagnet geſtellt in der Querrichtung zur Ruhe kommen muß, ſo wie es in der Nähe des Leitungsdrahtes geſchieht, aber mit dem wichtigen Unterſchiede, daß bei dem Transverſalmagnete die nordpolariſche Seite nordpolariſch wirkt, man mag über oder unter ihm die Magnetnadel aufſtellen, ſtatt daß der electriſche Strom die über ihm ſtehende Nadel in die eine Richtung, die unter ihm ſtehende in die genau entgegengeſetzte Richtung bringt. [3] Die Meinung, der Leitungsdraht

[1] Die neueſten Forſchungen über den Magnetismus ſind der Ampère'ſchen Theorie nicht günſtig geweſen; Weber insbeſondere hat nachgewieſen, daß gewiſſe Erſcheinungen ſich aus jener nicht genügend erklären laſſen, ſondern auf die Exiſtenz getrennter magnetiſcher Flüſſigkeiten hinweiſen. (M.)

[2] Vorausgeſetzt, daß der Funke gegen den Beobachter zu ging.

[3] Auch der Umſtand, daß Eiſenfeile vom Leitungsdrahte ſo angezogen wird, daß ſie ihn umwickelt, nirgends in Spitzen oder Nadeln nach außen hervortritt, würde bei dem Transverſalmagnete

ſey ein Transverſalmagnet, ließ ſich daher in ihrer Einfachheit nicht beibehalten, ſondern man fing an, dem Leitungsdrahte vier oder ſechs Pole, entweder zwei oder drei nordpolariſche Seiten der ganzen Länge nach beizulegen; aber niemand konnte angeben, daß irgend ein beſtimmter Punkt des Umfangs vorzugsweiſe Nordpol, ein andrer mit mehr Recht Südpol heißen könne. Die Vertheidiger dieſer Anſicht ſcheinen ſich zuletzt dabei beruhigt zu haben, daß jede nach der Länge des Leitungsdrahtes auf ſeiner oberen Fläche gezogene Linie, wenn in ihr der Strom ſich vom Beobachter entfernt, an ihrer linken Seite nordpolariſch, an ihrer rechten ſüdpolariſch ſey, der Leitungsdraht alſo als mit unzähligen unendlich ſchmalen Quermagneten umgeben ſich zeige. Dem Weſentlichen nach kömmt dieß dann auf Pohl's Circularmagnetismus hin, mit dem ich mich nicht habe befreunden können. Die übrigen Erſcheinungen durch dieſe Hypotheſe zu erklären hat mir immer unmöglich geſchienen, und mehrere Phyſiker, die ſich zuerſt der transverſalmagnetiſchen Theorie geneigt zeigten, ſind auch zu der Ueberzeugung, daß ſie nicht ausreiche, gelangt.[1]

Neunundſiebenzigſte Vorleſung.

Thermomagnetismus.

Die durch den Schweigger'ſchen Multiplicator ſo ſehr erleichterte Wahrnehmung ſelbſt der ſchwächſten electriſchen Ströme hat noch zu einer ſehr merkwürdigen und unerwarteten Entdeckung geführt. Seebeck bemerkte nämlich im J. 1821, indem er den durch electromotoriſche Einwirkung zweier Metalle auf einander entſtehenden electriſchen Strom unterſuchte, daß zwei Metalle auch ohne einen feuchten Leiter magnetiſche Einwirkungen hervorbringen können, und daß beſonders Antimon und Wismuth ſonderbare Ungleichheiten der hervorgebrachten Wirkungen zeigen. Eine Reihe von Verſuchen, wo entweder eines dieſer Metalle oder auch Zink mit Kupfer in Berührung gebracht wurde, diente, um diejenigen Umſtände, welche ohne Einfluß waren, kennen zu lernen,

gar nicht oder nur dann ſtatt finden, wenn dieſer Magnet ſehr ſchmal wäre und alſo Nordpol und Südpol ganz nahe bei einander lägen. Entſtehen dagegen in der Eiſenfeile electriſche Ströme, ſo legt jedes, als eine kurze Magnetnadel gedachte Theilchen ſich quer über die Längenrichtung des Leitungsdrahtes und alle zuſammen bringen daher jene Umwickelung hervor.

[1] Zum Schluſſe führe ich hier noch die Bemerkung an, daß die ſpiralförmige Windung, die man ſchon längſt als in den Tromben oder Waſſerhoſen bemerkbar angegeben hat, zu dem (namentlich von Horner ausgeſprochenen) Gedanken geführt hat, daß die Natur hier einen ſolchen Umkreiſungsſtrom hervorbringe, wie wir ihn in den electromagnetiſchen Experimenten benutzen. Dieſer Gedanke verdient gewiß alle Aufmerkſamkeit, aber mir ſind noch keine Erfahrungen bekannt, die uns genauern Aufſchluß gäben, ob die Richtung dieſer Windungen beſtimmt iſt, ob ſie mit der Richtung des Fortrückens der Waſſerhoſe in einer Beziehung ſteht, ob die letztere vielleicht ſenkrecht auf den magnetiſchen Meridian iſt u. ſ. w. Wir müſſen daher die deutlichere Kenntniß dieſer Erſcheinung erſt von der Zukunft erwarten.

und führte endlich dahin, ungleiche Erwärmung als die Urſache einer bei trockener Berührung zweier Metalle hervorgehenden Einwirkung auf die Magnetnadel oder eines entſtehenden electriſchen Stromes anzuerkennen. Dieſe Erſcheinungen haben daher den Namen der thermomagnetiſchen (d. h. durch Wärme erregten magnetiſchen) oder thermoelectriſchen erhalten. Um den Verſuch am einfachſten anzuſtellen, verbindet man einen Kupferſtreifen ABC (XVI. Fig. 33) mit einem Wismuthſtabe AC, bringt auf die Spitze D eine Magnetnadel und ſtellt den Kupferſtreifen in die Richtung des magnetiſchen Meridians; erwärmt man nun die eine Löthungsſtelle C des Wismuths und des Kupfers (ich nehme hier an, das untere Ende des ſüdlich ſtehenden Wismuths), ſo weicht die Nadel öſtlich ab; erwärmt man das obere Ende A des ſüdlich ſtehenden, an das Kupfer bei A befeſtigten Wismuths, ſo weicht die Nadel weſtlich ab. Wenn Antimon ſtatt des Wismuths angebracht wird, ſo erfolgen beide Erſcheinungen entgegengeſetzt, und dieſer Gegenſatz zeigt ſich nicht bloß bei der Verbindung mit Kupfer, ſondern in jeder ähnlichen Verbindung ſcheinen Wismuth und Antimon die beiden äußerſten Glieder einer Reihenfolge zu ſeyn, die mit der Reihenfolge der Körper in electromotoriſcher Hinſicht vergleichbar, obgleich ganz anders geordnet iſt.

Nach den bisherigen Erfahrungen, wo ein poſitiv-electriſcher Strom, wenn er um die nach Norden gerichtete Magnetnadel in der Richtung CDBA geführt wird, eine Ablenkung nach Oſten hervorbringt, werden wir alſo ſagen müſſen, wenn am Wismuthkupferringe die Verbindungsſtelle C erwärmt wird, ſo entſteht ein poſitiv-electriſcher Strom vom erwärmten Wismuth zum Kupfer; eben die Regel findet immer ſtatt, indem eine Erwärmung bei A die entgegengeſetzte Ablenkung, alſo einen entgegengeſetzten Strom, das iſt, wieder vom erwärmten Wismuth zum Kupfer, hervorbringt. Wenn dagegen Antimon und Kupfer einen feſt verbundenen Ring bilden, geht der poſitiv-electriſche Strom an der Erwärmungsſtelle vom Kupfer zum Antimon. Verbindet man Antimon und Wismuth, ſo geht an der erwärmten Stelle der poſitiv-electriſche Strom vom Wismuth zum Antimon; auch für faſt alle anderen unterſuchten Metalle iſt, wenn ſie mit Antimon einen Ring bilden, der electriſche Strom an der erwärmten Stelle gegen das Antimon zu, wenn ſie aber mit Wismuth einen Ring bilden, vom Wismuth abwärts gerichtet.

Erwärmt man beide Verbindungspunkte A, C der beiden Metalle in gleichem Grade, ſo zeigt die Magnetnadel keine Aenderung, weil die entgegengeſetzten Ströme die Wirkung zerſtören. Setzt man (XVI. Fig. 34) den Stab FGH aus Wismuth FG und Antimon GH zuſammen und ſchließt den Ring HIKF durch Kupfer oder ein anderes Metall, ſo weicht, wenn H gegen Norden gekehrt iſt, der Nordpol öſtlich ab, ſobald man in G erwärmt (der Strom geht vom Wismuth zum Antimon); er weicht weſtlich aus, ſobald man in H erwärmt (der Strom geht vom Kupfer zum Antimon); er weicht weſtlich aus, wenn man in F erwärmt (der Strom geht vom Wismuth zum Kupfer und weiter vom Kupfer zum Antimon); er weicht noch ſtärker weſtlich

aus, wenn man in F und H zugleich erwärmt, weil der Strom nun nicht allein angeregt wird, bei H vom Kupfer zum Antimon, ſondern auch bei F aufs neue vom Wismuth zum Kupfer überzugehen. Daſſelbe findet ſtatt, wenn der Ring durch mehrere Metalle geſchloſſen wird, ohne daß jedoch Paare von Gliedern ſich wiederholen; niemals iſt, wenn nur eine der Berührungsſtellen erwärmt wird, der Erfolg ganz ebenſo als wenn ſich die beiden hier zuſammenſtoßenden Metalle mit ihren andern Enden unmittelbar berührten. Werden mehrere Verbindungspunkte erwärmt, ſo iſt die hervorgehende Wirkung gleich der Summe oder Differenz der durch jede einzelne erwärmte Stelle hervorgebrachten Wirkungen, je nachdem die erzeugten electriſchen Ströme in gleicher oder entgegengeſetzter Richtung gehen.

Abkühlung in einem der Verbindungspunkte bringt die genau entgegengeſetzten Wirkungen hervor, und man verſtärkt daher die Wirkung, wenn man in A (Fig. 33) eine Erhitzung, in C eine Abkühlung ſtatt finden läßt. Die Wirkung findet zwar ſchon ſtatt, wenn an der Stelle der Erwärmung dieſe ſich auch nur auf eines der Metalle erſtreckt, beſſer aber iſt es, wenn beide daran Theil haben. Je größer die Differenz der Wärme in den Verbindungsſtellen iſt, deſto größer wird die Ablenkung der Magnetnadel, worauf die zuerſt von Nobili gemachte Anwendung der thermoelectriſchen Säule als Thermometer beruht.

Sehr große Berührungsflächen vermehren die Wirkung nicht merklich; indeſſen dürfen ſie nicht zu klein ſeyn, und vollkommen innige Berührung, am beſten durch Löthung, iſt eine weſentliche Bedingung der Wirkſamkeit. Schiebt man ein Blatt Papier oder eine benetzte Pappſcheibe zwiſchen die Metalle, ſo wird alle Wirkung aufgehoben. Kreiſe aus einem einzigen Metalle zeigen bei ungleicher Erwärmung ganz ähnliche Wirkungen auf die Magnetnadel, wie zuerſt Seebeck, bald nachher aber und unabhängig von ihm Yelin beobachtete.

Geſetze der thermoelectriſchen oder thermomagnetiſchen Erſcheinungen.

Die Metalle bilden auch in Beziehung auf die durch ungleiche Wärme in beiden Verbindungspunkten hervorgehenden Erſcheinungen eine gewiſſe Reihenfolge. So wie Zink und Mangan-Oxyd ſo ziemlich die Endpunkte der Reihe in electromotoriſcher Hinſicht, um den voltaiſchen Strom hervorzubringen, darſtellen, ſo ſind Antimon und Wismuth unter den bekanntern Metallen die Endpunkte der Reihe in thermoelectriſcher Hinſicht oder bei der Hervorbringung des Seebeck'ſchen Stromes. In Hinſicht auf dieſe beiden Metalle ſind alle Beobachter einig; in Hinſicht auf die übrigen haben ſich bei verſchiedenen Verſuchen Verſchiedenheiten in der Reihenfolge ergeben, die entweder von beigemiſchten fremden Beſtandtheilen oder von ungleicher Behandlung abhängen mögen.[1] Wenn man vom Wismuth ausgeht, ſo ſetzt ſelbſt Seebeck einige

[1] Daß dieſe Ungleichheit der Wirkung beim Platin gänzlich von der Reinheit dieſes Metalles abhänge und deshalb als Prüfungsmittel hiefür dienen könne, hat Seebeck gezeigt.

Arten Kupfer vor Silber und Zink, einige Arten nach denſelben; indeß iſt es gewiß, daß auch das Zink ziemlich in der Mitte liegt, und die Reihenfolge iſt ungefähr ſo: Wismuth, Platin, Blei, Zinn, Silber, Kupfer, Zink, Eiſen, Antimon, welchem noch das Tellurium folgt. Hierbei iſt Wismuth das am meiſten negative, Tellur das am meiſten poſitive Metall. Nach Seebeck's Verſuchen gilt nun freilich auch hier, was bei der voltaiſchen Säule galt, daß die Stärke des electriſchen Stromes am größten iſt, wenn man die in der Reihe am meiſten gegen beide Enden ſtehenden Metalle verbindet (vorzüglich Wismuth und Antimôn), aber es zeigen ſich auch unerwartete Ausnahmen, z. B. wirkt Tellur mit Silber ſtärker, als Tellur mit Wismuth zu einem Kreiſe verbunden, obgleich aus andern Verſuchen doch als unzweifelhaft erhellt, daß die Stelle des Wismuth weit über dem Silber, die allerentfernteſte vom Tellurium iſt.

Hinſichtlich der aus einem einzigen Metalle beſtehenden Kreiſe fanden Seebeck und Yelin (von denen jener zwei Stangen oder Streifen von demſelben Metall mit einander verband, dieſer aber einen in Form eines Rechtecks gebogenen Kupferſtreifen anwandte), daß der electriſche Strom aus dem heißeren in das kältere Ende überging; nach Nobili's Verſuchen verhalten ſich aber die einzelnen Metalle auch in dieſer Hinſicht verſchieden und zerfallen in zwei Claſſen. Bei der einen geht der Strom von der erhitzten nach der kalten Stelle, bei der andern iſt es umgekehrt. Zur erſten Claſſe gehören die meiſten Metalle, Wismuth, Silber, Platin, Kupfer, Meſſing, Gold, Zinn, Blei, zur zweiten Zink, Eiſen und Antimon. Am ſtärkſten wirkt Wismuth, demnächſt Antimon, am ſchwächſten Zinn und Blei, ja bei den letzten beiden erhielt Seebeck gar keine Wirkung. Der Americaner Emmet legte heiße Metallſcheiben auf kalte und fand, daß der dann entſtehende electriſche Strom beim Platin, Gold, Silber, Kupfer und Nickel von dem warmen nach dem kalten Metalle, dagegen bei dem Zinn, Blei, Zink, Eiſen, Meſſing, Arſenik, Antimon und Wismuth von dem kalten Metalle nach dem heißen ging.

Die zahlreichen Verſuche Seebeck's über Erze und Metallmiſchungen, über Metallmiſchungen im feſten und im flüſſigen Zuſtande u. ſ. w., welche viele einzelne Merkwürdigkeiten darbieten, aber keine allgemeineren Anſichten begründen, muß ich übergehen. Dagegen darf ich die Bemerkung wohl nicht übergehen, daß Antimonſtäbe an einem Ende oder auch an beiden Enden erwärmt eine magnetiſche Polarität zeigten und Wismuthſtäbe ebenſo angewandt werden konnten. Dieſes beruhte auf einer Ungleichheit ihrer Maſſe und ließ ſich ſo anſehen, als ob die beiden ungleichen Theile, die wir vorhin mit den Enden an einander lötheten, hier der ganzen Länge nach an einander lägen. Daß dieſe Anſicht richtig ſey, zeigte ſich, als ein Kupfer- und ein Antimonſtab, der ganzen Länge nach auf einander liegend, zuſammen vereinigt wurden; erhitzte man dann beide Enden, während die Mitte kalt blieb, ſo zeigten ſich die Enden polariſch. Eine hohlgegoſſene Kugel von Antimon zeigte ſich, an einzelnen Stellen erwärmt, magnetiſch-polar, und Seebeck knüpft

hieran Betrachtungen über die Beſchaffenheit der ganzen Erde, die in ihren verſchiedenen Punkten durch die unterirdiſchen Feuer ſo ungleich erwärmt iſt.

Der electriſche Strom, den wir uns durch die ungleiche Erwärmung hier hervorgebracht denken, unterſcheidet ſich von demjenigen, den die voltaiſche Erregung, die hydroelectriſche Kette, wie man ſie im Gegenſatz genannt hat, hervorbringt, dadurch ſehr auffallend, daß er nicht ſo leicht die dünnern leitenden Körper durchläuft. Ein Schweigger'ſcher Multiplicator, der den Strom in öftern Wiederholungen um die Nadel führt, iſt hier nicht von dem entſchiedenen Nutzen, ja bei größerer Länge ſcheint er den Strom ganz und gar zu hindern, ſo daß man bei 500 Umwindungen keine Wirkung fand, obgleich ſie bei 100 Umwindungen ſtatt fand. Dagegen zeigt der einfache, aber durch dickere Stäbe fortgeführte Strom ſich bedeutend wirkſam. Aus dieſem Grunde ſind auch die thermoelectriſchen Säulen oder Batterien, d. h. die ringförmigen Zuſammenſetzungen, wo Wismuth und Antimon mehrmals abwechſeln, wie Fig. 35, zwar bei der Erhitzung in den gehörigen Verbindungspunkten wirkſamer als einfache Ketten, aber dieſes nur dann, wenn die Länge der ganzen Verbindung nicht vergrößert wird. Iſt der ganze, vom electriſchen Strome zu durchlaufende Ring EFGHIK aus Antimon EFGH und Wismuth HIKE zuſammengeſetzt, ſo bringt eine Erwärmung in E und Abkühlung in H eine beſtimmte Ablenkung der Nadel hervor; dieſe wird größer, wenn der ebenſo lange Ring aus den Antimonſtücken EF, GH, IK beſteht, zwiſchen welchen drei Wismuthſtücke FG, HI, KE befeſtigt ſind, und wenn man nun E, G, I in eben dem Grade, wie vorhin E, erwärmt und F, H, K in eben dem Grade, wie vorhin H, abkühlt; wäre aber der Umfang im letzten Falle dreimal ſo groß als im erſten Falle genommen, ſo würde der wachſende Widerſtand den Vortheil der vervielfachten Wirkung aufheben.

Der thermoelectriſche Strom ſcheint mit ſehr geringer Kraft vorzudringen, weshalb er denn auch zwar Contractionen bei Froſchpräparaten, aber keine Wirkungen auf das Gefühl hervorbringt,[1] und durch die geringſten Hinderniſſe an der Löthungsſtelle beider Metalle gänzlich aufgehalten wird. Die chemiſchen Wirkungen ſind ſchwach und wurden daher von mehreren Phyſikern (ſelbſt von Fourier und Oerſted) gar nicht wahrgenommen; indeſſen hat Botto in Turin mit einer Combination von 120 Stücken Eiſen- und Platindraht Waſſer zerſetzt. Antinori und Linari erhielten daſſelbe Reſultat mit 25 Elementen, wobei der Strom eine 505 F. lange Spirale durchlief, außerdem aber bei plötzlicher Trennung des Stromes einen glänzenden, ſelbſt am Tage ſichtbaren Funken. Seitdem haben viele Phyſiker mit Erfolg die Hervorbringung eines thermoelectriſchen Funkens wiederholt: z. B. Henry in America, Wheatſtone (mittelſt einer Säule von 33 Elementen Wismuth und Antimon), Watkins, Magnus, Alexander u. A. Das Gelingen des Verſuchs ſcheint erleichtert zu werden durch das Umwinden des Multiplicatordrahtes um ein

[1] Indeß will Watkins die Wirkungen einer Säule von 30 Elementen auf der Zunge wahrgenommen haben. (M.)

Hufeiſen von weichem Eiſen, das hierbei in einen temporären Magnet verwandelt wird. Watkins erhielt auf dieſe Art mit 30 Paaren Wismuth und Antimon einen Magnet mit einer Tragkraft von 98 Pfund. Antinori und Linari behaupten, eine unmagnetiſche Stahlnadel in einer Drahtſpirale durch den thermoelectriſchen Strom magnetiſirt zu haben.

Becquerel hat zu Abmeſſung der magnetiſchen Kräfte, die bei den thermoelectriſchen Verſuchen thätig ſind, folgendes Verfahren angewandt. Es werden mehrere ganz gleiche, mit Seide umwickelte Leitungsdrähte über der Magnetnadel neben einander angebracht; jeder derſelben bildet auf ganz gleiche Art einen aus zwei Metallen zuſammengeſetzten vollſtändigen Ring, um, wenn man einen der Verbindungspunkte erwärmt, einen thermoelectriſchen Strom in ſich fortzuleiten. Beobachtet man nun die Ablenkung der Magnetnadel, wenn nur einem der Drähte an einem Löthungspunkte eine beſtimmte Erhöhung der Temperatur, ferner wenn zweien, wenn dreien dieſelbe Erhöhung der Temperatur ertheilt wird, ſo hat man die einfache, zweifache, dreifache Kraft mit den Angaben der Magnetnadel zuſammengeſtellt. Mit Anwendung dieſer Kenntniß von den wahren Werthen der Kraft des Stromes findet man, daß bei einer Verbindung von an einander gelöthetem Kupfer- und Eiſendraht die Kraft gleichmäßig wächſt, wenn man die Temperaturunterſchiede der Löthungen von 0° bis 140° Cent. zunehmen läßt; von 140° an iſt, bei gleicher Zunahme der Temperaturdifferenzen, die Zunahme der Kraft geringer und bei 300° iſt ſie beinahe unveränderlich geworden; ja bei noch höhern Temperaturen ſchien eine entgegengeſetzte Wirkung einzutreten. Andre Drähte zu einem Umlaufe verbunden zeigten bis zu andern Temperaturen hin eine mit den Wärmedifferenzen gleichmäßig ſteigende Kraft, und zwar bis zu deſto höhern Temperaturen, je ſchwerer ſchmelzbar ſie waren. Platindraht mit Eiſendraht gab ſelbſt bis zu 300° Erwärmung, wenn der andre Löthungspunkt auf 0° erhalten wurde, eine gleichmäßig mit der Wärme ſteigende Kraft, und Becquerel gründet darauf ein Verfahren, ſehr hohe Temperaturen zu beſtimmen.

Von Chriſtie's Verſuchen, wodurch er die in den verſchiedenen Tagesſtunden eintretenden Veränderungen des Erdmagnetismus mit den thermoelectriſchen Erſcheinungen in Verbindung zu ſetzen ſucht, ſage ich nichts, da ſeine Folgerungen mir nicht genug Ueberzeugung gewähren.

Auch in Hinſicht auf die Theorie dieſer Erſcheinungen habe ich wenig zu ſagen. Seebeck glaubt, ſie ſtänden den electromagnetiſchen Theorien, welche den electriſchen Strom als Urſache der Einwirkungen auf die Magnetnadel anſehen, ſehr entgegen, weil die eine Spannungsreihe von der andern ſo ſehr abweiche, und ſich keineswegs diejenigen Verſtärkungen oder Schwächungen bei höhern Temperaturen zeigen, die man zu erwarten berechtigt ſcheine. — Wiefern dieſe Einwürfe begründet ſind oder ſich heben laſſen, ſcheint mir aus unſern jetzigen Kenntniſſen noch nicht zu erhellen; aber ich weiß auch nicht, daß man bis jetzt eine genügendere Theorie aufzuſtellen im Stande geweſen ſey.

Anwendung des Thermomagnetismus auf die Wärmemeſſung.

Eine der wichtigſten Anwendungen des Thermomagnetismus iſt ohne Zweifel die thermoelectriſche oder thermoſcopiſche, indem die auf dieſem Principe beruhenden Thermometer an Empfindlichkeit alle andern übertreffen dürften. Becquerel bediente ſich zu dieſem Zwecke der einfachen, Nobili aber der zuſammengeſetzten thermoelectriſchen Kette. Der Letztere conſtruirte zuerſt den in X. Fig. 13 vorgeſtellten Apparat (von ihm Thermomultiplicator genannt), beſtehend aus je 6 Stücken Antimon und Wismuth, die mit ihren Enden zuſammengelöthet ſind und demnach 11 Löthſtellen bilden. Um die Wirkungen der ungleichen Erwärmung auf die eine Reihe der Löthſtellen zu concentriren, bog er die Metallverbindung kreisförmig zuſammen und brachte ſie in eine Büchſe, die ſpäter mit Gyps ausgefüllt wurde, ſo daß die geraden Löthſtellen in Gyps eingeſchloſſen wurden und nur die ungeraden frei blieben. Aus der Büchſe ragten die Enden oder Pole A, B hervor, um ſie mit den Drahtenden des Multiplicators zu verbinden. Später erfand er gemeinſchaftlich mit Melloni eine aus 38 Paaren Wismuth und Antimon beſtehende, ringförmig angeordnete Säule, wobei die Verbindungs- oder Löthſtellen abwechſelnd auf der einen und andern Seite des Ringes liegen, folglich nur die auf der einen Seite befindlichen erwärmt oder erkältet werden müſſen.

Die von beiden Phyſikern gebrauchten Apparate, welche von Melloni zu ſeinen wichtigen Verſuchen über die Wärme angewandt wurden, ſind übrigens nicht ſowohl Thermometer als Thermoſcope. Eine eigentliche Meſſung der Wärme iſt dagegen durch die einfache Kette möglich, bei welcher die eine Löthſtelle genau auf einer beſtimmten Temperatur erhalten, die andere der zu meſſenden Temperatur ausgeſetzt wird und der Betrag der Ausweichung der Magnetnadel im Multiplicator den Unterſchied der Temperaturen ausdrückt, vorausgeſetzt, daß vorher durch genaue Verſuche das Verhältniß zwiſchen dem von der Magnetnadel beſchriebenen Winkel und den entſprechenden Thermometergraden feſtgeſetzt iſt. Becquerel unterſcheidet thermoelectriſche Apparate für höhere und für mittlere Temperaturen; für erſtere wendet man am beſten zwei in der thermoelectriſchen Reihe nicht weit von einander abſtehende Metalle an, z. B. Platin und Palladium oder zwei verſchiedene Arten Platin, damit die Ablenkung der Magnetnadel nicht zu ſtark iſt; dieſelbe iſt dann innerhalb gewiſſer Grenzen den Graden der Wärme proportional. Mit einem ſolchen Apparate fand Becquerel die Hitze eines Porzellanofens zu Sevres = 2542°,8 C. bei einer Ablenkung der Magnetnadel von 27½ Grad, woraus erhellt, daß die höchſten vorkommenden Temperaturen auf dieſem Wege meßbar ſind. Für geringere Temperaturen unter 100° C. zieht derſelbe eine Verbindung von Kupfer und Eiſen vor; ein ſolcher Apparat kann dienen, um die Wärme an unzugänglichen Orten, z. B. in Bohrlöchern, zu beſtimmen, und Becquerel und Breſchet haben mit einem ſolchen die Temperaturen in verſchiedenen Tiefen des Genferſees unterſucht. Wichtig iſt die Anwendung dieſer Gattung

thermoelectriſcher Apparate zur Meſſung der Temperaturen in den Organen lebender Thiere und Pflanzen, die auf andre Weiſe nicht gut oder gar nicht möglich iſt. Man braucht hierzu feine Nadeln aus zwei zuſammengelötheten Metalldrähten (am beſten Kupfer und Stahl) von etwa 4 Zoll Länge und $^{5}/_{10}$ Lin. Dicke, und da bei den Apparaten, mit welchen die beiden zuletzt genannten Gelehrten die Temperaturen der verſchiedenen Theile des thieriſchen Körpers unterſuchten, ein Wärmeunterſchied von 1° C. ſchon eine Ablenkung der Magnetnadel von 10 Graden bewirkte, ſo erhellt daraus die große Empfindlichkeit derſelben, in Folge deren noch $^{1}/_{100}$° C. meßbar ſeyn ſoll. Endlich hat Pouillet zum Meſſen hoher Temperaturen eine einfache Kette aus Eiſen und Platin, zum Meſſen hoher Kältegrade aber, wie ſie durch Verdampfung feſter Kohlenſäure erzeugt werden, eine ſolche aus Kupfer und Wismuth angewandt und mit der letztern die durch die Verflüchtigung der Kohlenſäure erzeugte Kälte zu — 78$^{3}/_{4}$° C., den Gefrierpunkt des Queckſilbers zu — 40$^{1}/_{2}$° C. beſtimmt.

Electriſche Ströme durch bloße Nähe electriſcher Ströme. Induction.

Ich gehe nun zu den Entdeckungen Faraday's über die electriſchen und magnetiſchen Erſcheinungen über und werde ſie an einen Einwurf gegen Ampère's Theorie, der mir die Veranlaſſung dazu zu enthalten ſcheint, anknüpfen. Dieſer Einwurf beſteht darin, daß wir gar keine electriſchen Wirkungen des Magnetes kennen und es daher nicht begreiflich finden, wie jedes Element des Magnetes von electriſchen Strömen umkreiſet ſeyn ſoll und dennoch dieſe electriſchen Ströme keine Art von electriſcher Wirkung zeigen. Man konnte hierauf mit Recht antworten, daß ſich hier, wo es auf eine Wirkung unzähliger geſchloſſener Kreiſe electriſcher Umſtrömungen ankomme, gar wohl ein eben ſolches Zerſtören der nach außen merkbaren Wirkſamkeit denken laſſe, wie es zum Beiſpiel bei einem magnetiſchen Ringe der Fall iſt, deſſen Magnetismus, weil überall Nordpol und Südpol zugleich ſind, uns erſt kenntlich wird, wenn wir ihn zertheilen; indeß war damit doch jene Bedenklichkeit nur abgewieſen und nicht widerlegt.

Ob nun Faraday durch Betrachtungen, die ſich hierauf bezogen, geleitet neue Unterſuchungen, wie umkreiſende electriſche Ströme auf unelectriſirte Körper wirken, unternommen habe, iſt mir unbekannt; ſehr wohl aber ließe ſich denken, daß dieſe Betrachtung ihn zu derjenigen Kenntniß der Einwirkung electriſcher Ströme auf unelectriſirte Leiter geführt habe, welche ich jetzt angeben will. Die erſte Entdeckung, die Faraday zu den wichtigen neuen Entdeckungen leitete, ſcheint die geweſen zu ſeyn, daß ein electriſcher Strom, der einen Metalldraht durchläuft, bei ſeinem Entſtehen in einem ihm benachbarten Drahte einen ähnlichen, aber nur einen Augenblick dauernden, Strom von entgegengeſetzter Richtung hervorruft, und daß, nach der Entfernung oder beim Aufhören jenes erſten electriſchen Stromes, in dem benachbarten Drahte ein neuer electriſcher Strom, gleichlaufend mit dem dieſe Wirkungen hervorbringenden, entſteht. Nach Faraday's Vorgange nennt man

dieſe Art der Electricitätserregung Induction und den urſprünglichen Strom den primären, inducirenden oder Hauptſtrom, den durch denſelben hervorgebrachten aber den ſecundären, inducirten oder Nebenſtrom. Die Exiſtenz des letztern wird nicht nur durch die Ablenkung einer Magnetnadel, ſondern auch durch phyſiologiſche Wirkungen, Funken u. ſ. w. erkannt. Um ſtarke Wirkungen hervorzubringen, bedient man ſich mit Vortheil eines ſpiralförmig gewundenen Drahts, indem man auf eine Spuhle oder Rolle von Holz oder Metall zwei mit Seide überſponnene, alſo iſolirte Kupferdrähte wickelt, von denen der eine (Hauptdraht) mit den Polen einer galvaniſchen Kette verbunden wird. Werden nun die Enden des andern (Nebendrahts) einander ſehr genähert, ſo ſieht man im Augenblicke, wo durch die Enden des Hauptdrahts die Kette geſchloſſen wird, einen Funken überſpringen. Faßt man die Enden des Nebendrahts mit den Händen, ſo fühlt man beim Oeffnen und Schließen des Hauptſtroms einen Schlag. Der letztere kann bei bedeutender Länge der aufgewundenen Drähte ſehr ſtark ſeyn, indem dann die Intenſität des Inductionsſtromes viel ſtärker ſeyn kann als die des Hauptſtromes. Ein von Neef und Wagner conſtruirter Apparat bewirkt, daß die Kette in raſcher Aufeinanderfolge geſchloſſen und geöffnet wird, und eignet ſich ſehr für phyſiologiſche und mediciniſche Zwecke. Die Schläge dieſes Apparats, bei welchem man am beſten eine conſtante Kette als Electricitätsquelle nimmt, ſind ſo ſtark, daß ſie ſich durch eine Reihe von mehreren ſich anfaſſenden Perſonen fortpflanzen. Befeſtigt man an den Enden der Inductionsſpirale zwei Metallplatten, taucht dieſe in einiger Entfernung von einander in Waſſer und hält in daſſelbe zwiſchen die Polplatten dasjenige Glied, auf welches die Electricität wirken ſoll, ſo wird daſſelbe in allen Punkten ſehr lebhaft erregt.

Auch die Windungen einer und derſelben Drahtſpirale üben auf einander eine inducirende Wirkung aus und bringen einen Strom hervor, der ein Gegenſtrom (nach Faraday ein Extraſtrom) genannt wird. Er entſteht im Augenblick der Schließung und Oeffnung der Kette und hat bei jener eine dem Hauptſtrom entgegengeſetzte, bei dieſer aber eine mit demſelben gleichlaufende Richtung.

Induction electriſcher Ströme durch Magnetismus. Magnetoelectricität.

Man kann ſich wundern, daß dieſe Erſcheinungen der Inductionselectricität nicht ſchon lange beobachtet worden ſind, aber die ſehr kurze Dauer ſolcher durch Einwirkung entſtandenen Ströme enthält ſchon Grund genug, um zu erklären, warum früher niemand hierauf aufmerkſam geworden iſt. Sobald aber Faraday ſie bemerkte, mußte ſich gewiß die Ueberlegung hieran anſchließen, daß die den Magnet angeblich umkreiſenden electriſchen Ströme, wenn ſie gleich keine Electriſirung ertheilen können und keiner Ableitung ſelbſt durch die beſten Leiter fähig ſind, doch vielleicht eine gleiche Einwirkung auf benachbarte Leiter durch Erregung electriſcher Ströme in ihnen zeigen könnten. Dieſe Vermuthung fand ſich beſtätigt; brachte Faraday den

Magnet einem ſchraubenförmig gewundenen Leiter nahe, ſo zeigte die Einwirkung dieſes Drahtes auf die Magnetnadel des Multiplicators ſowohl bei der Annäherung als bei der Entfernung des Magnetes einen in dem Drahte entſtandenen electriſchen Strom.[1]

Dieſe Entdeckung iſt unſtreitig eine der merkwürdigſten, da ſie die erſte iſt, welche eine Electricität des Magnets verräth oder zeigt, daß der Magnet, ganz allein wirkend, electriſche Erſcheinungen hervorbringt, daß alſo jener Einwurf ſeinen Werth faſt ganz verliert. Nobili hat eine vortheilhafte Anordnung dieſer Verſuche angegeben. Wenn man die beiden Pole eines Hufeiſenmagnetes mit einem weichen Eiſen verbindet, ſo iſt dieſes bekanntlich nun ſelbſt ein Magnet, und man kann den ſchraubenförmigen Draht nicht beſſer anbringen, als wenn man ihn um dieſes Eiſen wickelt und dann ſeine Enden mit dem Drahte des Multiplicators in Verbindung ſetzt. So wie das Eiſen (der Anker) die Pole des Magnets berührt und dadurch ſelbſt zum Magnete wird, zeigt der um das Eiſen gewickelte, alſo in der Nähe dieſes ſchnell entſtehenden Magnetes befindliche Draht auf kurze Zeit einen in ihm entſtehenden electriſchen Strom; wird das Eiſen abgeriſſen, ſo hört ſein Magnetismus auf und der Multiplicator zeigt einen entgegengeſetzten Strom in jenem Umwickelungsdrahte. Auf dieſe Weiſe läßt ſich der Verſuch mit einem Magnet, der etwa 12 Pfund trägt, leicht wiederholen, nur muß man ſorgen, die Leitungsdrähte lang genug zu nehmen, damit man ſicher ſey, den Magnet ſo entfernt zu legen, daß er nicht beim Abziehen und Anlegen des Eiſens ungleich auf die Nadel des Multiplicators wirke. Ein $1/2$ Linie ſtarker Meſſingdraht, mit Seide umwickelt und 12 bis 14 Umwindungen um das Eiſen machend, reicht hiezu hin, und man kann, ſobald nur der Gehülfe das Anlegen und Abziehen pünktlich ausrichtet, ſehr bedeutende Ausweichungen der Nadel hervorbringen, wenn man den Wechſel des Anlegens und Abreißens des Ankers ſo ſtatt finden läßt, daß allemal die Oſcillation der Nadel nach der Seite, wohin ſie grade geht, verſtärkt wird.

Dieſe Verſuche dienen, indem ſie einen Einwurf gegen die Theorie Ampère's heben, ihr zur Beſtätigung; denn auch hier zeigt wieder der Magnet genau dieſelbe Wirkung, wie die umkreiſenden electriſchen Ströme. Ampère ſelbſt hat in Verbindung mit Becquerel die Verſuche Faraday's wiederholt und mit einem ſtarken ſchraubenförmig gewundenen Drahte, der einen electriſchen Strom leitete, genau die Erſcheinungen, wie bei Anwendung des Magnetes erhalten. Auch wenn dieſer electriſche Strom in die Windungen des mit dem Multiplicator verbundenen Drahtes gebracht wurde, zeigte die Nadel des Multiplicators nur eine kurz dauernde Ausweichung und kehrte dann zu ihrer ruhigen Stellung zurück, bei der Entfernung des electriſchen Stromes machte

[1] Daß der Magnet electriſche oder chemiſche Wirkungen hervorbringen müſſe, iſt oft vermuthet worden; aber weder die, welche dieſes vermuthet haben, noch die, welche einen ſchraubenförmigen Leiter um den Magnet gewickelt haben, dürfen ſich rühmen, dieſer Entdeckung nahe geweſen zu ſeyn (auch Fresnel nicht, der ſelbſt das gänzliche Fehlſchlagen ſeines Verſuches bekannte), denn dieſe ſchnell vorübergehenden Wirkungen erwarteten ſie nicht.

ſie eine gleichfalls kurz dauernde Ausweichung nach entgegengeſetzter Richtung, genau wie Faraday es angegeben hatte. Ampère hat ſchon in ſeinen frühern Theorien es nöthig gefunden, den electriſchen Umſtrömungen um den Magnet in der Mitte eine größere Intenſität als gegen die Enden beizulegen, weil nur ſo ſich alle Erſcheinungen des Magnetes erklären ließen; die Wirkung eines mit gleichen Umkreiſungsſtrömen umwickelten Cylinders mußten ſich alſo auch hier von den Wirkungen des Magnetes darin etwas unterſcheiden, daß bei jenem die Enden ſich verhältnißmäßig wirkſamer zeigten; in der That fand ſich, daß zwar auch bei dem Fortſchieben des mit wirklichen electriſchen Strömen umwickelten Cylinders die Wirkung zunahm, bis die Mitte des Cylinders jenen andern Umwickelungsdraht erreichte, daß aber beim Magnet dieſe Zunahme gegen die Mitte ſtärker war. Jeder Umſtand findet ſich alſo ſo wie die Ampère'ſche Theorie es fordert.

Der Inductionsmultiplicator.

Statt einen Magnet gegen einen Leitungsdraht zu bewegen, kann man jenen ruhen laſſen und den letztern bewegen. Um den hierbei in dem Drahte erzeugten electriſchen Strom zu verſtärken, dient eine von Gauß erſonnene Vorrichtung, von ihm Inductionsmultiplicator oder ſchlechthin Inductor genannt. Sie beſteht in einer cylindriſchen Rolle, um deren äußere Fläche ein mit Seide überſponnener Kupferdraht in zahlreichen Windungen gewunden iſt. Wird dieſe Rolle auf einen Magnet geſchoben, ſo entſteht in dem Drahte ein ſtarker electriſcher Strom; zieht man ſie wieder ab und ſchiebt ſie verkehrt wieder auf, ſo entſteht ein dem vorigen entgegengeſetzter Strom. Der von Gauß bei dem Apparat der Göttinger Sternwarte gebrauchte Inductor hat im Lichten beinahe 4 Zoll im Durchmeſſer; der umgewundene Kupferdraht macht 3537 Windungen und hat eine Länge von ungefähr 3600 Fuß. — Uebrigens iſt der Erfolg natürlich derſelbe, wenn der Magnet in die Rolle geſteckt und wieder herausgezogen wird, während die Enden des Drahtes mit den Enden des Multiplicatordrahtes eines Galvanometers in Verbindung ſtehen.

Magnetiſche Funken.

Dieſe Erſcheinungen, welche eine beſtimmte Hervorbringung electriſcher Wirkungen durch den Magnet beweiſen, gewähren nun die Hoffnung, auch andere electriſche Wirkungen hervorgehen zu ſehen. Bei der nur momentanen Dauer der electriſchen Ströme, welche in den benachbarten Körpern durch die Annäherung und Entfernung electriſcher Ströme und des Magnets erregt werden, läßt ſich auf chemiſche Wirkungen am wenigſten rechnen, es müßten denn ſolche ſeyn, die zu ihrem Entſtehen nur die allerkürzeſte Zeit gebrauchen; dagegen hat ſchon Faraday einen Funken hervorgehen ſehen und Mittel angegeben, ihn mit Beſtimmtheit zu erhalten, Nobili und Antinori aber haben zuerſt die genauen Umſtände, von denen er abhängt, bekannt gemacht. Sie fanden nämlich, daß zur Hervorbringung deſſelben die ſchnelle Unterbrechung der Leitung

während des kurzen Augenblickes, wo die Ströme wirkſam ſind, erforderlich ſey, und brachten ihn daher zuerſt ſo hervor, daß ſie beide Enden des Drahtes, in welchem der electriſche Strom durch Einwirkung des Magnetes entſtand, in einem einzigen Gefäße mit Queckſilber eingetaucht anbrachten und nun gleichzeitig das Eiſen vom Magnet abzureißen und den einen Draht aus dem Queckſilber hervorzuziehen ſuchten; geſchah beides faſt in demſelben Moment, ſo zeigte ſich der Funke. Da aber dieſe Gleichzeitigkeit ſo ſchwer zu erhalten war, ſo wählten ſie nachher ein anderes Verfahren. Legen ſich die beiden Enden des um den Anker gewickelten Drahtes, ohne mit dem Anker in leitender Verbindung zu ſtehen, vollkommen leitend an beide Pole des in die Form des Hufeiſens gekrümmten Magnetes an, ſo machen die electriſchen Ströme, welche in dem Drahte entſtehen, wenn das weiche Eiſen plötzlich den Magnet berührend ſelbſt zum Magnet wird, ihren Kreislauf durch den Draht und den Magnet; richtet man es nun ſo ein, daß beim Abreißen des Eiſens gleichzeitig auch die Enden des Drahtes ſich vom Magnet trennen, ſo wird der im Augenblicke des Abreißens entſtehende Strom in ſeinem Uebergange gehindert und ſchlägt als Funke über.

Rotationsmaſchinen.

Um durch die Magnetoelectricität einen ſtetigen electriſchen Strom und alle Wirkungen, deren dieſer fähig iſt, hervorzubringen, dient eine ſogenannte magneto-electriſche Rotationsmaſchine, welche zuerſt (1832) von Pixii conſtruirt, nachher von Clarke, Saxton, Ettingshauſen, Stöhrer u. A. vielfach abgeändert und verbeſſert worden iſt. Die Hauptheile dieſes Apparats, welcher an Wichtigkeit der Electriſirmaſchine und voltaiſchen Batterie an die Seite geſetzt werden muß, ſind eine kräftige Magnetbatterie und ein in deren Nähe befindlicher Anker von weichem Eiſen, Inductor genannt, deſſen beide Schenkel mit überſponnenem und dadurch iſolirtem Kupferdraht umwunden ſind. Eines dieſer beiden Stücke — bei den neueſten Maſchinen der Anker — wird mittelſt einer Schnurmaſchine (einer großen und einer kleinen Scheibe, beide durch eine Schnur ohne Ende verbunden, von denen die größere mittelſt einer Kurbel mit der Hand umgedreht wird) in ſchnelle rotirende Bewegung geſetzt, ſo daß die Inductorſchenkel abwechſelnd den beiden Polen des Magnetes gegenüber zu ſtehen kommen und von ihnen getrennt werden. Von einer ſolchen Trennung bis zu dem Augenblicke, wo die Inductorſchenkel und Magnetpole ſich gegenüber ſtehen, entſteht in dem Drahtgewinde jedes Schenkels ein ſtetiger electriſcher Strom von einerlei Richtung, der jedoch bei der nächſten Trennung in die entgegengeſetzte verwandelt wird, ſo daß die Richtungen der Ströme fortwährend wechſeln. Um dieß zu verhindern und zu bewirken, daß die Richtung des Stromes in jedem Drahtgewinde immer dieſelbe bleibt, dient ein Commutator, deſſen Einrichtung in den verſchiedenen Maſchinen ſehr verſchieden iſt. — Auf Taf. X. Fig. 14 iſt eine Rotationsmaſchine nach Ettingshauſen's Conſtruction abgebildet. Hier liegt die Magnetbatterie in horizontaler Richtung

auf einem Tiſchchen, während der Inductor ſich um eine verticale Axe dreht. Dieſelbe beſteht aus zwei Cylindern von weichem Eiſen, A und B, die an den beiden Enden einer horizontalen Eiſenplatte befeſtigt ſind, welche in der Mitte auf einer verticalen eiſernen Axe (der Inductorſpindel) ruht. An dieſer Spindel ſteckt zunächſt unter der Platte ein hohler eiſerner Cylinder oder Ring g, der durch eine iſolirende Subſtanz (Holz oder Elfenbein) von der Spindel getrennt iſt. Unter demſelben befindet ſich ein andrer eiſerner Cylinder h, der mit der Spindel in leitender Berührung ſteht und an ſeinem untern Ende einen Ausſchnitt hat, welcher die Hälfte des Umfanges hinwegnimmt. Die Windungen um die Inductorſchenkel bilden einen einzigen zuſammenhängenden Draht, deſſen eines Ende an g, deſſen anderes Ende aber auf der eiſernen Platte befeſtigt iſt. Zur Schließung der Kette und Leitung des Stromes dienen zwei zu beiden Seiten der Inductorſpindel ſtehende kleine meſſingene Säulen mit mehreren Löchern, in welche metallene Federn eingeſchraubt werden können, welche g und h berühren; ſtecken zwei g und h berührende Federn an derſelben Säule, ſo ſind die Enden der Drähte in leitender Verbindung, die Kette iſt alſo geſchloſſen, ſtecken ſie aber an verſchiedenen Säulen, ſo müſſen dieſelben, um die Kette zu ſchließen, durch einen Leitungsdraht verbunden werden. Entſpricht nun die h berührende Feder dem Ausſchnitte an h, ſo iſt die Kette abwechſelnd während eines halben Umlaufes des Inductors unterbrochen, während des folgenden halben aber geſchloſſen, und dadurch wird die Umkehrung der Richtung des Stromes verhindert. L und R ſind Metallcylinder, an welchen die Polardrähte befeſtigt ſind und welche man in die Hand nimmt, um einen Schlag zu erhalten. Je nachdem man verſchiedene Wirkungen hervorbringen will, kann man zwei verſchiedene Inductoren anwenden: entweder einen mit dickerem Drahte, Quantitätsinductor genannt, oder einen mit dünnerem, Intenſitätsinductor genannt; beide können leicht mit einander vertauſcht werden.

Etwas zuſammengeſetzter iſt die Einrichtung derjenigen Rotationsmaſchinen, bei denen der electriſche Strom nicht, wie bei der vorigen, abwechſelnd ganz unterbrochen, ſondern nach jeder halben Umdrehung des Inductors umgekehrt wird. Sehr ſinnreich iſt die hierzu dienende Commutatorvorrichtung namentlich bei der Rotationsmaſchine von Stöhrer, bei welcher Magnet und Inductor horizontal und ſo liegen, daß im Augenblick, wo die Magnetpole und die Inductorſchenkel ſich gegenüber ſtehen, der eine Magnet- und der eine Inductorſchenkel ſich geradlinig fortſetzen, ſtatt, wie bei Ettingshauſen's Maſchine, einen rechten Winkel mit einander zu bilden. Daß die letztere Anordnung der Wirkung nachtheilig ſeyn muß, iſt leicht zu begreifen. Noch ungleich wirkſamer ſind die von Stöhrer conſtruirten zuſammengeſetzten Rotationsmaſchinen, welche aus mehreren, ihre Pole nach oben kehrenden Hufeiſenmagneten und ebenſo vielen über ihnen befindlichen, ſich um eine verticale Axe drehenden Inductoren beſtehen.

Die Wirkungen der Rotationsmaſchinen hängen im Allgemeinen von der Stärke des Magnetes ab und wachſen mit der Umdrehungsgeſchwindigkeit, die

jedoch eine gewiſſe Grenze nicht überſteigen darf. Von den Wirkungen des Galvanismus ſind ſie nicht weſentlich verſchieden; man kann daher durch Magnetoelectricität umgekehrt wieder Electromagnetismus erzeugen, der aber an Stärke hinter der Stärke der angewandten Magnete beträchtlich zurückbleibt. Bei dieſer und ähnlichen Wirkungen, wo der Widerſtand gering iſt, wendet man mit Vortheil dickern Draht, bei phyſiologiſchen Wirkungen aber und überall da, wo größerer Widerſtand zu überwinden iſt, dünnern Draht an. Eine aus 3 Hufeiſenmagneten (jeder von etwa 30 Pf. Tragkraft) zuſammengeſetzte Rotationsmaſchine giebt Schläge von unerträglicher Stärke, zündet kalten Spiritus mit Leichtigkeit, zeigt das Licht zwiſchen genäherten Kohlenſpitzen ſehr ſchön, erzeugt Electromagnete von 12 Pfund Tragkraft u. ſ. w. Vor galvaniſchen Apparaten haben die Rotationsmaſchinen viele ſehr weſentliche Vorzüge voraus, insbeſondere die der Reinlichkeit, der Bequemlichkeit und leichten Handhabung und der vollkommen gleich bleibenden Wirkung. Man kann ſich daher für techniſche Zwecke, wo kein ſehr ſtarker Strom erheiſcht wird, z. B. beim galvanoplaſtiſchen Vergolden und Verſilbern (nicht aber bei Kupferniederſchlägen), mit großem Vortheil dieſer Maſchinen bedienen. Für mediciniſche Zwecke werden dieſelben ebenfalls ſchon ſehr häufig angewandt, und es iſt kaum zu bezweifeln, daß ſie in Kurzem weiter als alle andern electriſchen Apparate verbreitet ſeyn werden.

Electriſche Telegraphie.

Große Vortheile ſcheint die Anwendung der Magnetoelectricität zur Telegraphie zu verſprechen, die wir nur in Verbindung mit der Anwendung des Galvanismus zu gleichem Zwecke beſprechen können, da die gemachten Verſuche, die Reibungselectricität zu benutzen, vereinzelt daſtehen und zu keinem Reſultate geführt haben. Die bisherigen Telegraphen ſind namentlich deshalb unvollkommen, weil ſie von der Tageszeit und der Witterung abhängen und nur am Tage und bei hellem Wetter, nicht aber bei nebliger Atmoſphäre gebraucht werden können; dieſe Unvollkommenheit wird durch die electriſchen Telegraphen völlig beſeitigt. Bald nach Erfindung der voltaiſchen Säule erſann Sömmering in München einen electriſchen Telegraphen, bei welchem die Gebung der Zeichen durch die chemiſche Wirkung der Säule erfolgt. Am einen Ende befand ſich eine Anzahl horizontalliegender, mit Buchſtaben oder Zahlen bezeichneter Drähte, und zugleich eine galvaniſche Säule, deren Polardrähte ſich mit jenen Drähten verbinden ließen. Am andern Ende war ein Waſſerbehälter aufgeſtellt, in welchen Drahtſpitzen hineinragten, deren jede mit einem der gedachten horizontalen Drähte leitend verbunden und mit demſelben Buchſtaben oder derſelben Zahl bezeichnet war. Werden nun zwei Drähte mit den Polen der galvaniſchen Säule in Verbindung geſetzt, ſo tritt in den beiden entſprechenden, in Waſſer tauchenden Drahtenden eine Waſſerzerſetzung ein, wodurch alſo zwei Zeichen auf einmal ſignaliſirt werden. Der wirklichen Anwendung dieſer an ſich einfachen und ſinnreichen Methode ſteht namentlich die große Menge der zu legenden

Leitungsdrähte, welche alle gehörig iſolirt ſeyn müſſen, im Wege. Der Erfinder derſelben vereinigte anfangs 35, nachher 27 mit Seide umſponnene Meſſingdrähte in ein Seil, welches bei der Ausführung im Großen, zu welcher es aber nicht gekommen iſt, in einem Canale unter der Erde hingeführt werden ſollte.

Oerſted's Entdeckung des Electromagnetismus gab in der Ablenkung einer freiſchwebenden Magnetnadel durch den galvaniſchen Strom ein neues Mittel der Zeichengebung an die Hand, deſſen Anwendung Fechner und Ampère in Vorſchlag brachten, Ritchie aber im Kleinen an einem Modell zeigte. Einfachere Vorrichtungen wurden von Baron Schilling von Cannſtadt angegeben, welcher ſtatt der vielen von Ampère verlangten Multiplicatoren (einer für jeden Buchſtaben) nur einen einzigen benutzte. Mehrere nach rechts und links in beſtimmter Ordnung erfolgende Ablenkungen der Multiplicatornadel ſollten für ein Zeichen gelten. — Auf demſelben Principe beruhen die electriſchen Telegraphen, welche an verſchiedenen Orten in England und Nordamerica theils im Modell, theils in größerer Ausdehnung ausgeführt worden ſind, namentlich durch Wheatſtone (welcher ſich mehrerer verticalſtehender aſtatiſcher Doppelnadeln bedient, durch deren verſchiedene Stellung die Buchſtaben oder Zeichen bezeichnet werden), Alexander in Edinburg und Morſe in New-York. Eine Ausführung im Großen hat bisher wohl nur auf Eiſenbahnen (z. B. von Birmingham nach Mancheſter, von Aachen nach der belgiſchen Grenze) ſtatt gefunden, die ſich auch hierzu, namentlich wenn die Drähte in die Erde gelegt werden ſollen, darum ſehr gut eignen, weil hier eine beſtändige ſehr genaue Aufſicht geübt wird, welche eine Beſchädigung der Leitung durch Bosheit oder Muthwillen ſehr erſchwert und faſt unmöglich macht. Uebrigens iſt bei Drähten, die in der Erde liegen, die Iſolirung deſto unvollkommener, je länger die Leitung iſt, und auf ſehr große Entfernungen iſt es wohl unerläßlich, obgleich gerade da doppelt ſchwierig, die Drähte im Freien, in einiger Höhe über dem Boden, anzubringen, wie auf jenen Eiſenbahnen geſchehen iſt. Der Vorſchlag, die Schienen der Eiſenbahn ſelbſt zu Fortleitung des Stromes zu benutzen, iſt namentlich deswegen unausführbar, weil ſich die Enden der Schienen nur ſchwierig in vollkommen metalliſche Verbindung ſetzen laſſen.

Den höchſten Grad der Vollkommenheit hat die electriſche Telegraphie in Deutſchland erreicht, wo man den magnetoelectriſchen Strom dem hydroelectriſchen vorzog. Schon im J. 1833, nur 2 Jahre nach dem Bekanntwerden der Magnetoelectricität, führen Gauß und Weber in Göttingen, wo ſie vom phyſicaliſchen Cabinet bis zur Sternwarte eine 7000 F. lange Drahtverbindung führten, einen electromagnetiſchen Telegraphen aus, bei welchem der Apparat zur Hervorbringung des electriſchen Stromes anfangs ein hydroelectriſcher, ſpäter aber (ſeit 1835) eine Verbindung von mehreren kräftigen Magneten und einem Inductionsmultiplicator oder einer Inductionsrolle war. Hebung der letztern bringt in dem Leitungsdrahte einen galvaniſchen Strom, Senkung

derſelben bringt einen zweiten entgegengeſetzten hervor. Die Verbindung der beiden Endpunkte der telegraphiſchen Linie beſteht in zwei iſolirt fortgeführten Drähten (am beſten eignet ſich Kupferdraht). Der Beobachtungsapparat beſteht in einem kupfernen Gehäuſe, um welches ein umſponnener Kupferdraht in vielen Windungen geſchlungen iſt, in welchem aber ein Magnetſtab hängt. Dieſer Stab, der ſelbſt wieder an einem in der Decke feſtgemachten Drahte hängt, trägt einen Spiegel, in welchem ſich ein Bild einer gegenüber befindlichen Scale zeigt, wenn man durch ein Fernrohr in denſelben ſieht. Sobald ſich nun der Magnetſtab ein wenig dreht, dreht ſich natürlich auch der Spiegel und die in demſelben ſichtbare Scale ſcheint ſich nach links oder rechts zu bewegen, je nachdem die Zuckung des Magneten nach der rechten oder linken Seite geht. Das kupferne Gehäuſe gewährt den großen Vortheil, daß es den ſchwingenden Magnetſtab durch ſeine Inductionswirkung, d. i. durch die Electricität, welche die Schwingungen des Stabs ſelbſt in ihm hervorrufen, ſchnell beruhigt, ſo daß eine Hebung der Inductorrolle mit unmittelbar darauf folgender Senkung nur eine einzige, beſtimmt wahrnehmbare Bewegung nach einer Seite bewirkt. Vermöge eines von Gauß angegebenen ſehr ſinnreichen Commutators, deſſen Beſchreibung wir hier übergehen müſſen, hat man es in ſeiner Gewalt, ob man Bewegungen des Magnetſtabes nach der rechten oder linken Seite hervorbringen will. Durch die Combination derſelben werden nach einer durch Uebereinkunft feſtgeſtellten Regel die Buchſtaben und Zahlen der telegraphiſchen Mittheilung gebildet; ſollen z. B. immer 5 Zuckungen des Stabes einen Buchſtaben bedeuten, ſo giebt es 32 verſchiedene Combinationen der Zuckungen nach rechts und links, und bezeichnet man jene mit r, dieſe mit l, ſo kann z. B. rrrrr = a, rrrrl = b, rrrlr = c ſeyn u. ſ. w. Der Anfang einer telegraphiſchen Mittheilung kann durch einen Wecker, den der Magnetſtab auslöſt, angezeigt werden. Die abwechſelnden Zuckungen des Magnetſtabes ſind vom Beobachter aufzuſchreiben.

Zu noch weit größerer Vollkommenheit aber wurde der Beobachtungsapparat durch Steinheil in München gebracht. Dieſer kam auf den Gedanken, das Ohr zum vermittelnden Sinne zu machen, indem er durch die Schwingungen des Magnetſtabes kleine Hämmer in Bewegung ſetzte, welche bald an eine höher, bald an eine tiefer geſtimmte Glocke ſchlagen, je nachdem eine Schwingung nach der einen oder nach der andern Seite erfolgt. Dieß gewährt den großen Vortheil, daß das Sehen durchs Fernrohr wegfällt und eine beliebige Anzahl von Perſonen, die ſich gegenſeitig controliren, die Signale aufſchreiben kann. Nicht zufrieden damit machte Steinheil die Vorrichtung zu einem wirklichen Telegraphen, der die Depeſchen ſelbſt aufſchreibt, indem er durch die Schwingungen des Magnetſtabes Stifte in Bewegung ſetzen ließ, welche in Näpfchen mit Farbe tauchen und auf einen Papierſtreifen, der durch ein Uhrwerk an ihnen vorbeigeführt wird, je nach der Richtung des Stromes hohe oder tiefe Punkte machen. So ſinnreich und zweckmäßig aber auch dieſe Vorrichtungen ſeyn mögen, ſo ſind ſie doch, ſo viel bekannt, in etwas größerem

Bayerische
Staatsbibliothek
MÜNCHEN

Maßſtabe bis jetzt nur in München ausgeführt worden, wo Steinheil ſeine Wohnung, das phyſicaliſche Cabinet, die Akademie der Wiſſenſchaften und die Sternwarte zu Bogenhauſen durch eine 37,000 F. lange Drahtleitung in Verbindung geſetzt hat. Ihrer Ausführung im Großen ſcheint übrigens weiter nichts als ihre Koſtſpieligkeit im Wege zu ſtehen.

Hiermit ſchließe ich die Reihe von Betrachtungen, mit welchen ich Sie zu unterhalten mir vorgeſetzt hatte. Habe ich gleich aus dem unermeßlichen Reichthum mannigfaltiger Forſchungen Ihnen nur weniges und nur das, was mir zum Ueberſehen des ganzen Syſtemes nothwendig ſchien, nur die Unterſuchungen, die den Zuſammenhang der Erſcheinungen am meiſten aufklären, mittheilen können, habe ich gleich manches Verdienſt unerwähnt laſſen und mich begnügen müſſen, nur diejenigen Entdeckungen in ihrer Entſtehung und Ausbildung zu verfolgen, die durch ihren Erfolg vorzugsweiſe dieß zu verdienen ſcheinen, ſo hoffe ich doch, daß ich Ihnen Gelegenheit genug gegeben habe, nicht nur den Reichthum der Natur an merkwürdigen Erſcheinungen, ſondern auch den Scharfſinn mancher ausgezeichneter Männer zu bewundern und in ihren Bemühungen Beiſpiele des ächten philoſophiſchen Forſchens, Beiſpiele, die uns als Vorbilder dienen können, zu erkennen. Was aber den Erfolg unſerer Bemühungen, die Erſcheinungen der Natur in ihrem Zuſammenhange zu überſehen und die Geſetze ihrer Verbindung kennen zu lernen, betrifft, ſo habe ich zwar oft das Bekenntniß ablegen müſſen, daß vieles uns noch dunkel ſey, vieles noch zu unterſuchen übrig bleibe; aber dennoch hoffe ich ſagen zu können, daß Sie nicht ohne Freude den Reichthum unſerer Kenntniſſe, das gelungene Beſtreben der Phyſiker, die Erſcheinungen in einem Syſteme zu vereinigen, werden kennen gelernt haben, wenn anders meine Darſtellung nicht zu mangelhaft geweſen iſt.

An die Freude über das, was wir beſitzen, knüpft ſich die Hoffnung auf immer reichere Kenntniſſe, auf immer vollendetere Einſicht in die Natur, die, nie erſchöpft, dem Menſchengeſchlechte immer neue Wunder darbieten wird. Möge nur dieſe vermehrte Einſicht auch durch weiſe Anwendung immer mehr zum Wohl der menſchlichen Geſellſchaft beitragen, möge dadurch die Zahl der Leiden, mit denen das menſchliche Geſchlecht umgeben iſt, vermindert werden; aber möge auch nie die Demuth aus den Herzen der Menſchen entweichen, anzuerkennen, daß ſelbſt die größte menſchliche Weisheit nicht zu einer vollkommenen Herrſchaft über die Natur führt, und daß wir die Heilung zahlreicher Leiden und Gebrechen, welche die Menſchheit drücken, von keiner irdiſchen Hand erwarten dürfen.

Bayerische Staatsbibliothek MÜNCHEN

Druckfehler.

Seite 27 Z. 5 v. u. lies getrieben ſtatt „getreiben."

„ 36 „ 23 v. o. „ 50 ſt. 5.

„ 41 „ 13 „ „ auch ſt. „auf."

„ 41 „ 2 v. u. „ einer . . . ähnlichen ſt. „eine . . . ähnliche."

„ 61 „ 10 v. o. „ ihr ſt. „ihre."

„ 90 „ 22 „ „ einer ſt. „eine."

„ 186 „ 22 „ „ eingreifen ſt. „eingreift."

„ 209 „ 15 „ „ verzögern ſt. „vergrößern."

„ 220 „ 12 v. u. „ $^{8}/_{5}$ ſt. $^{8}/_{3}$.

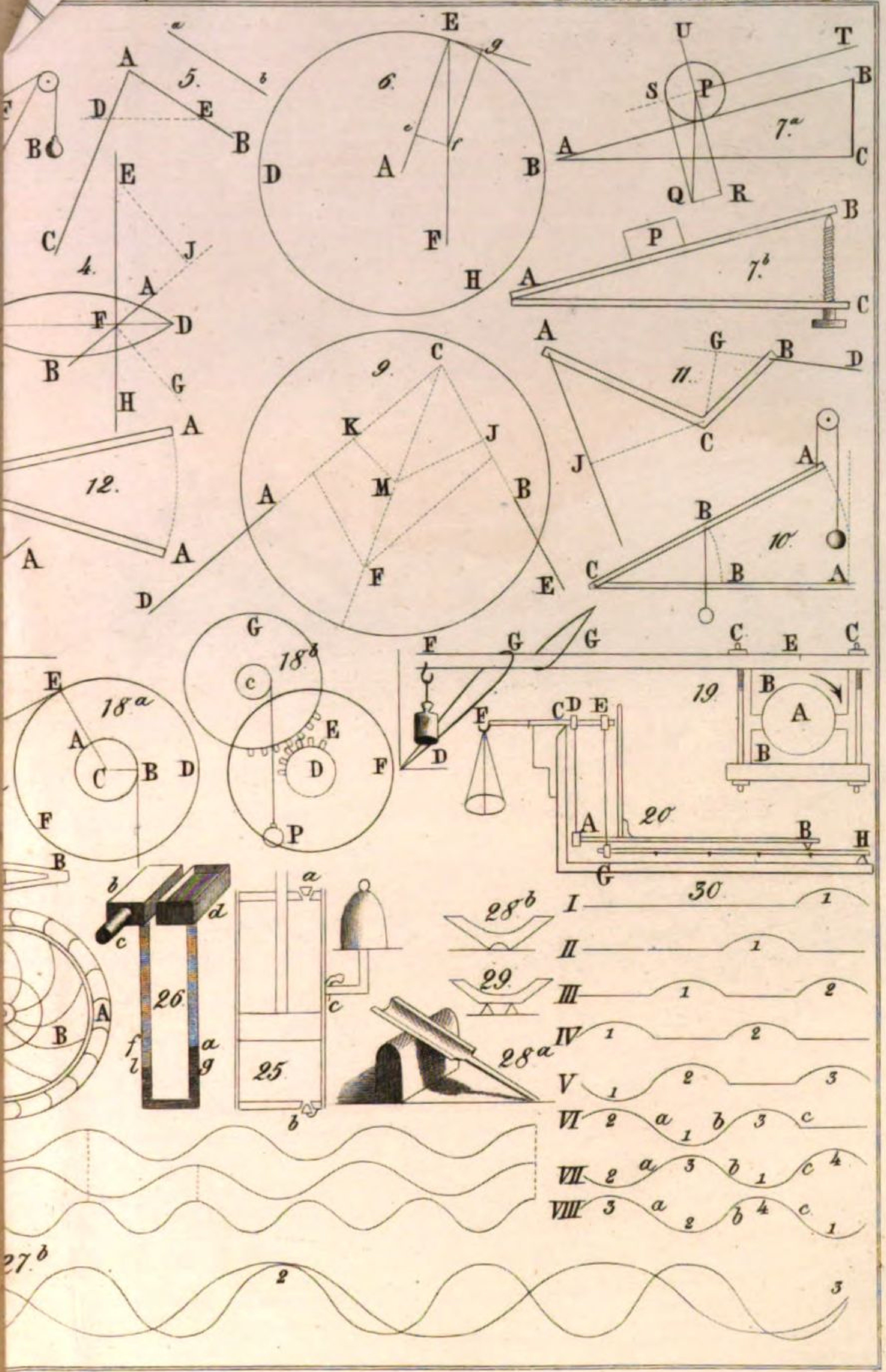
„ 223 „ 1 v. o. „ geregelt ſt. „gerregelt."

„ 226 „ 22 „ „ andern ſt. „adern."

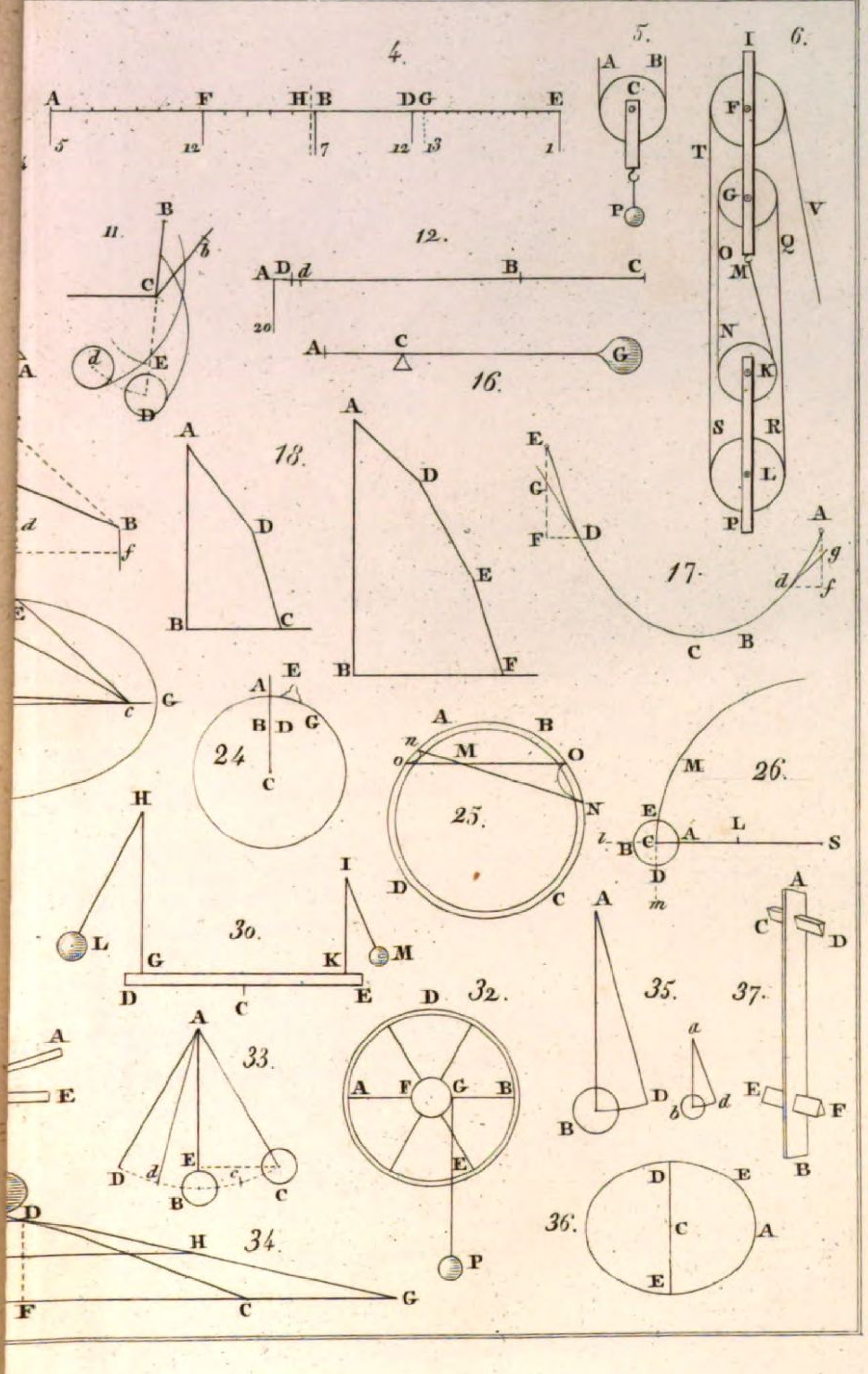
„ 375 „ 3 v. u. ſetze daß vor „ſelbſt."

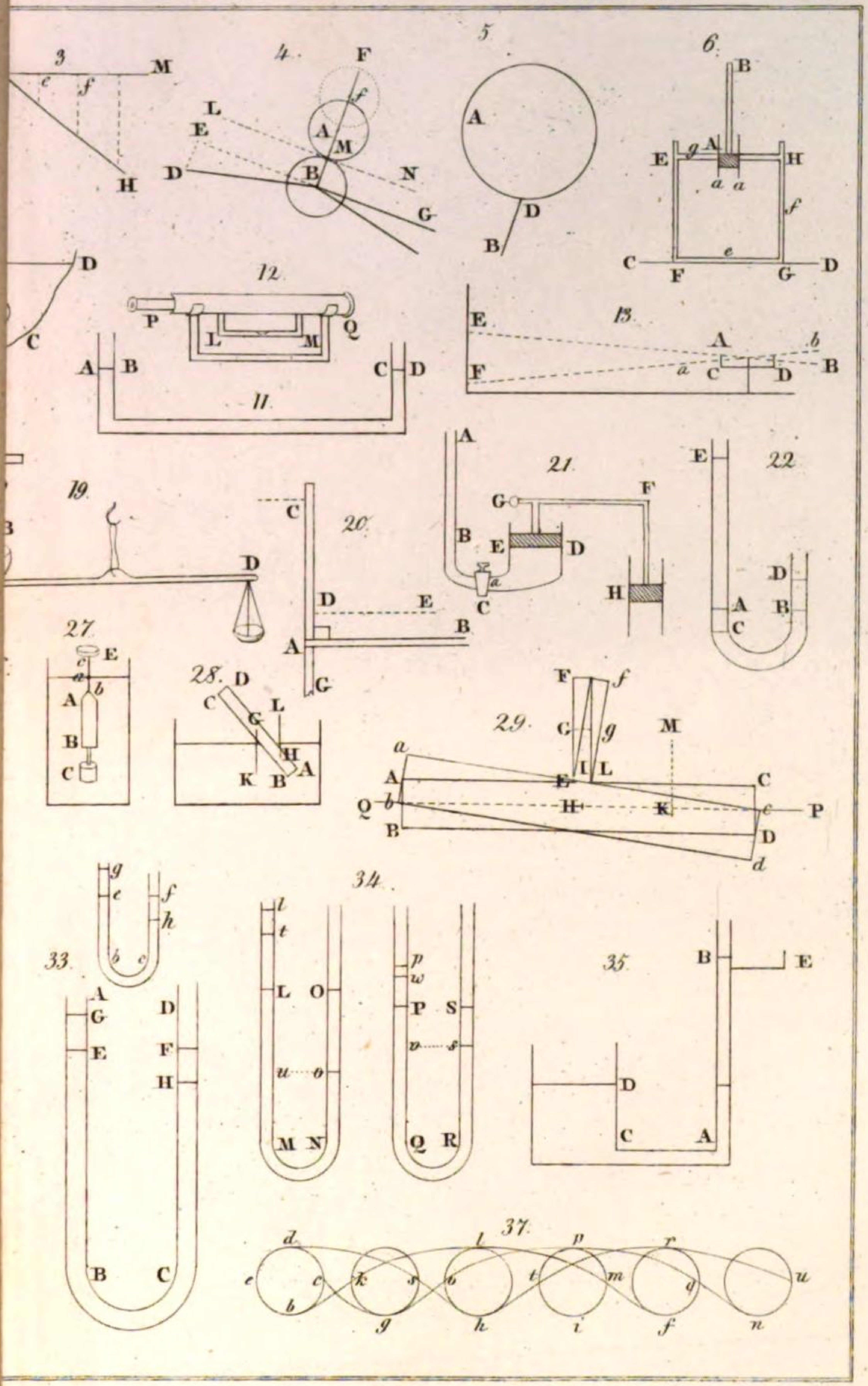
„ 375 „ 2 „ ſtreiche daß vor „nur."

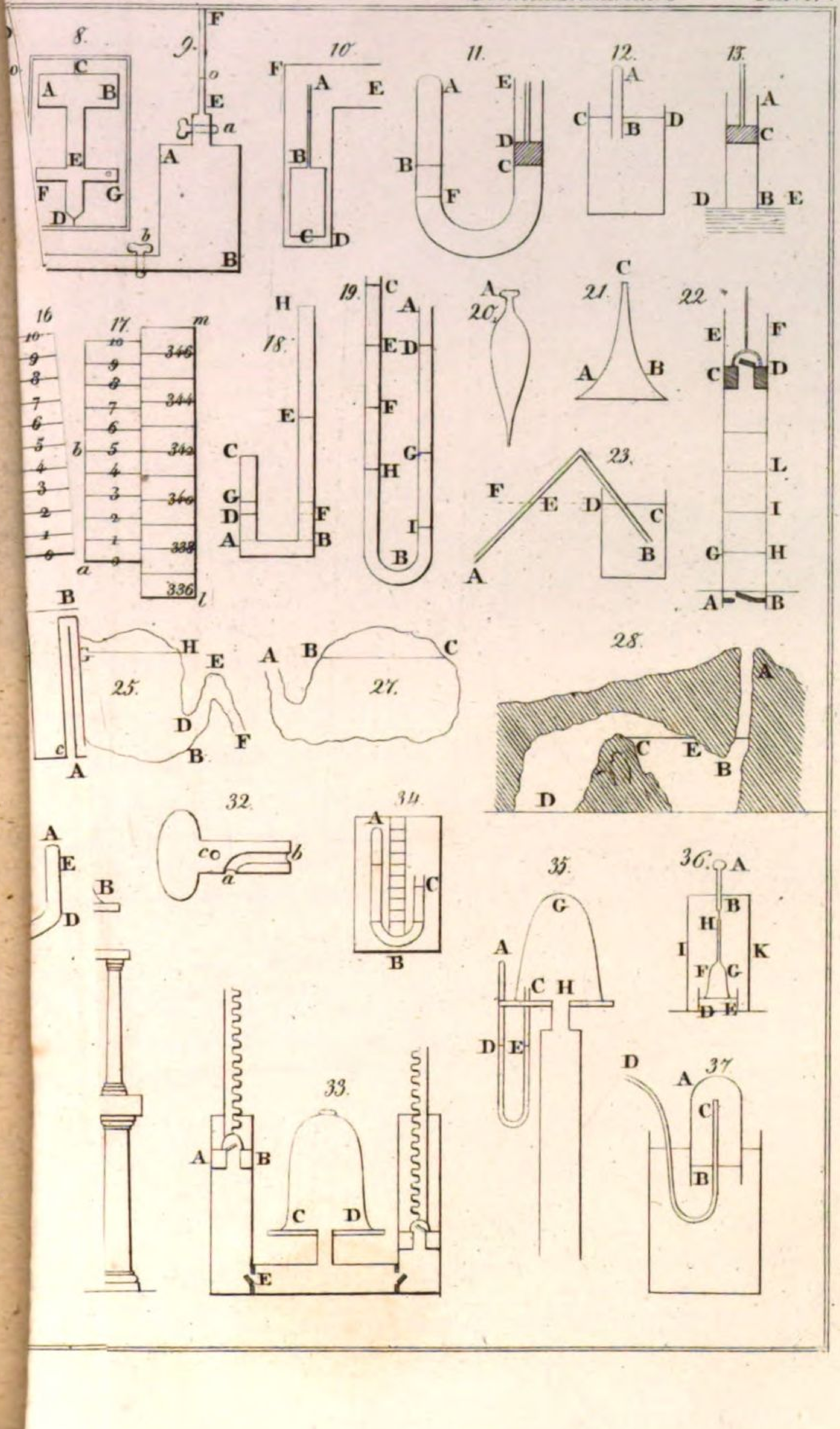
„ 585 „ 8 „ lies ſtellte ſtatt „ſtelle."

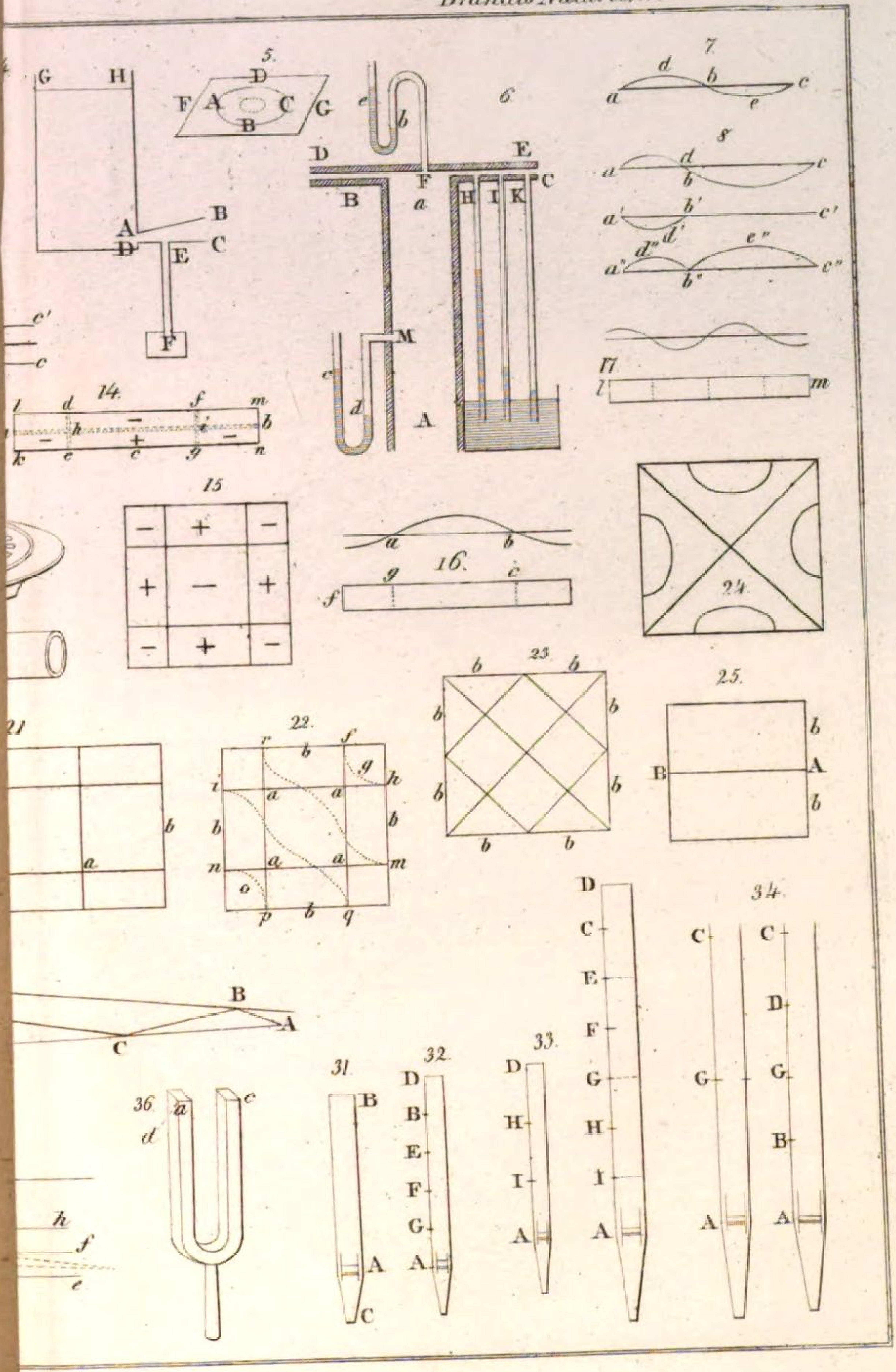

4.
5.
6.
7.a
7.b
9.
10.
11.
12.
18a
18b
19.
20.
25.
26.
27.b
28.a
28.b
29.
30.

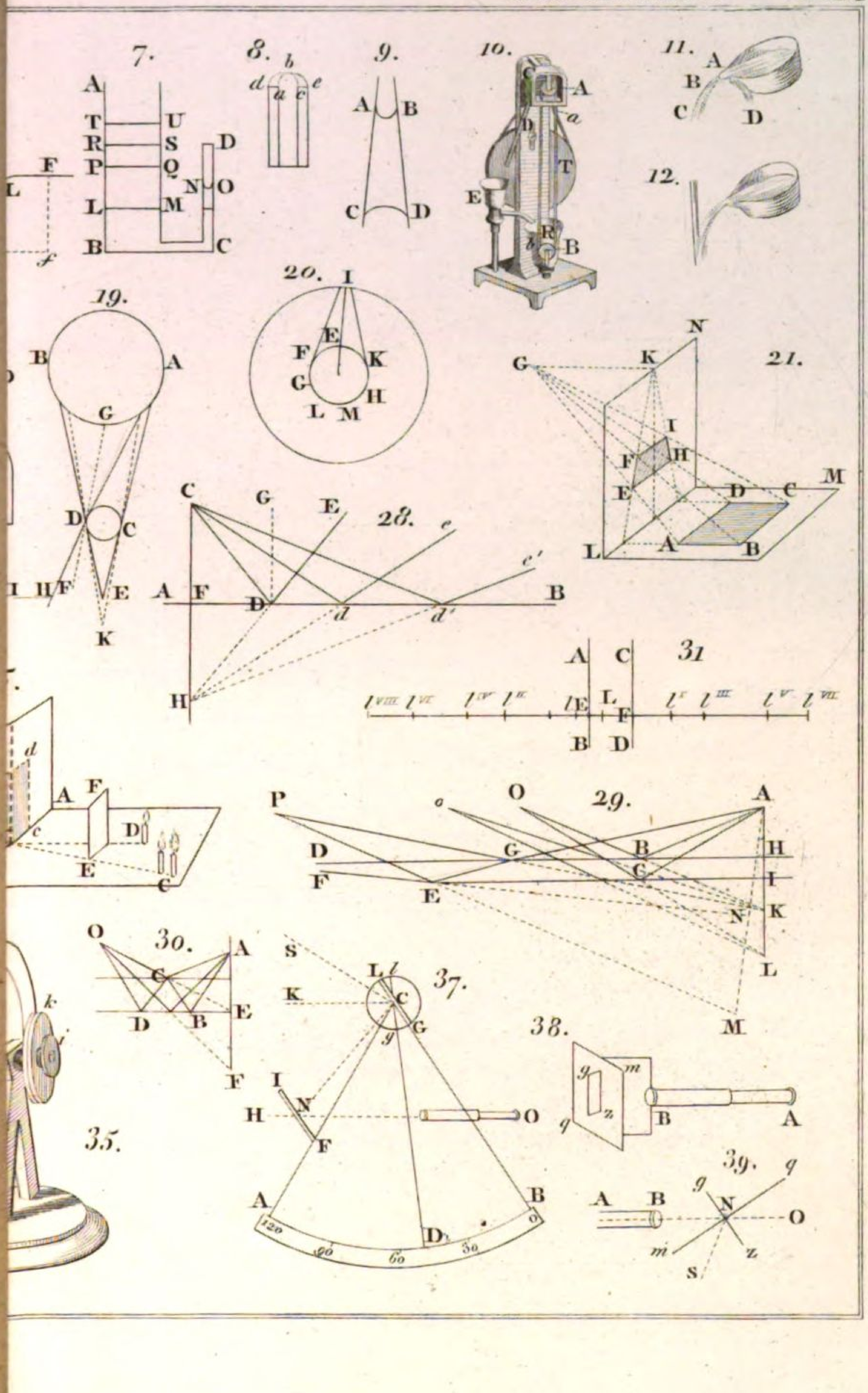
Bayerische
Staatsbibliothek
MÜNCHEN

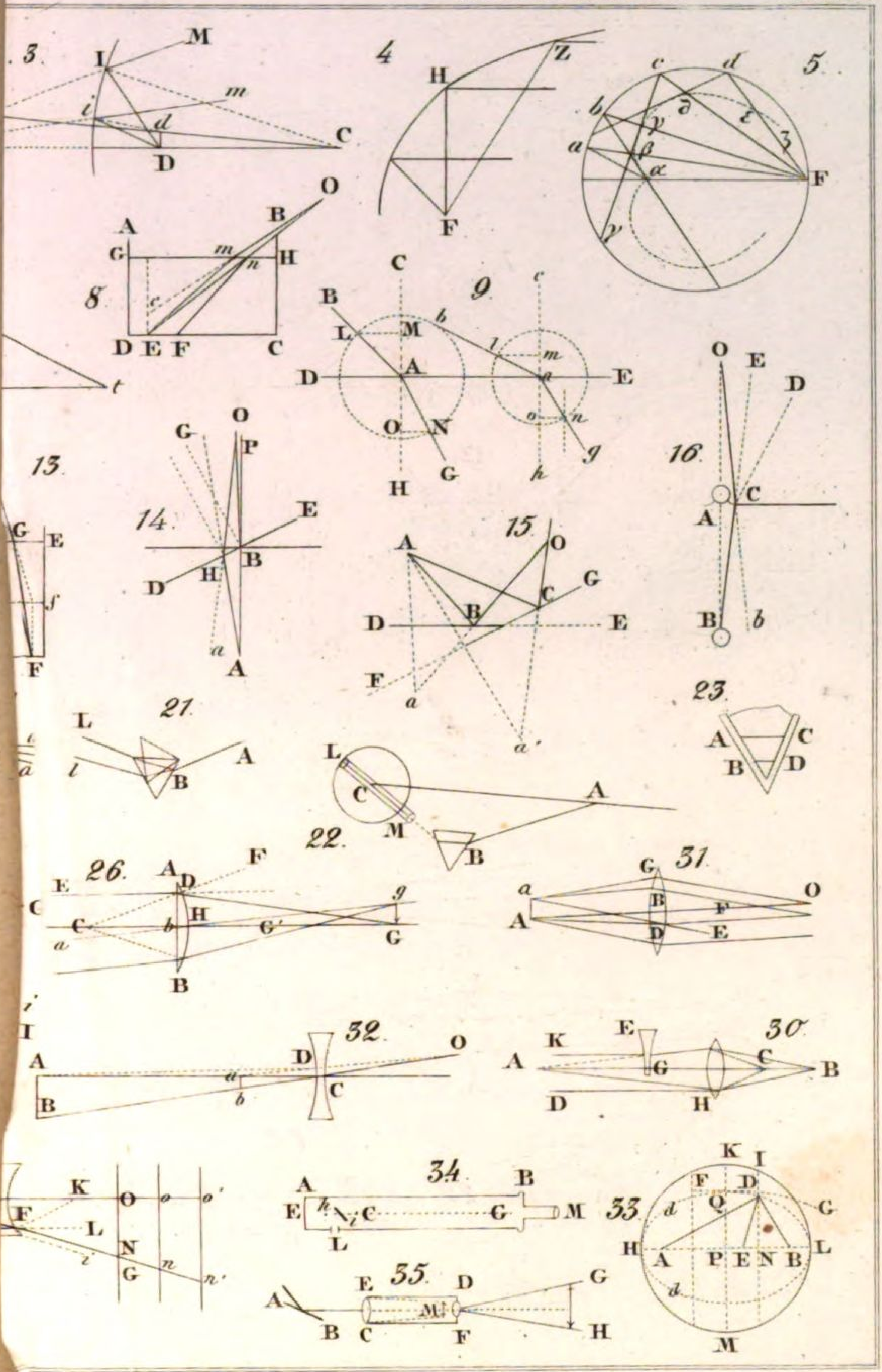

4.
5.
6.
11.
12.
16.
17.
18.
24
25.
26.
30.
32.
33.
34.
35.
36.
37.

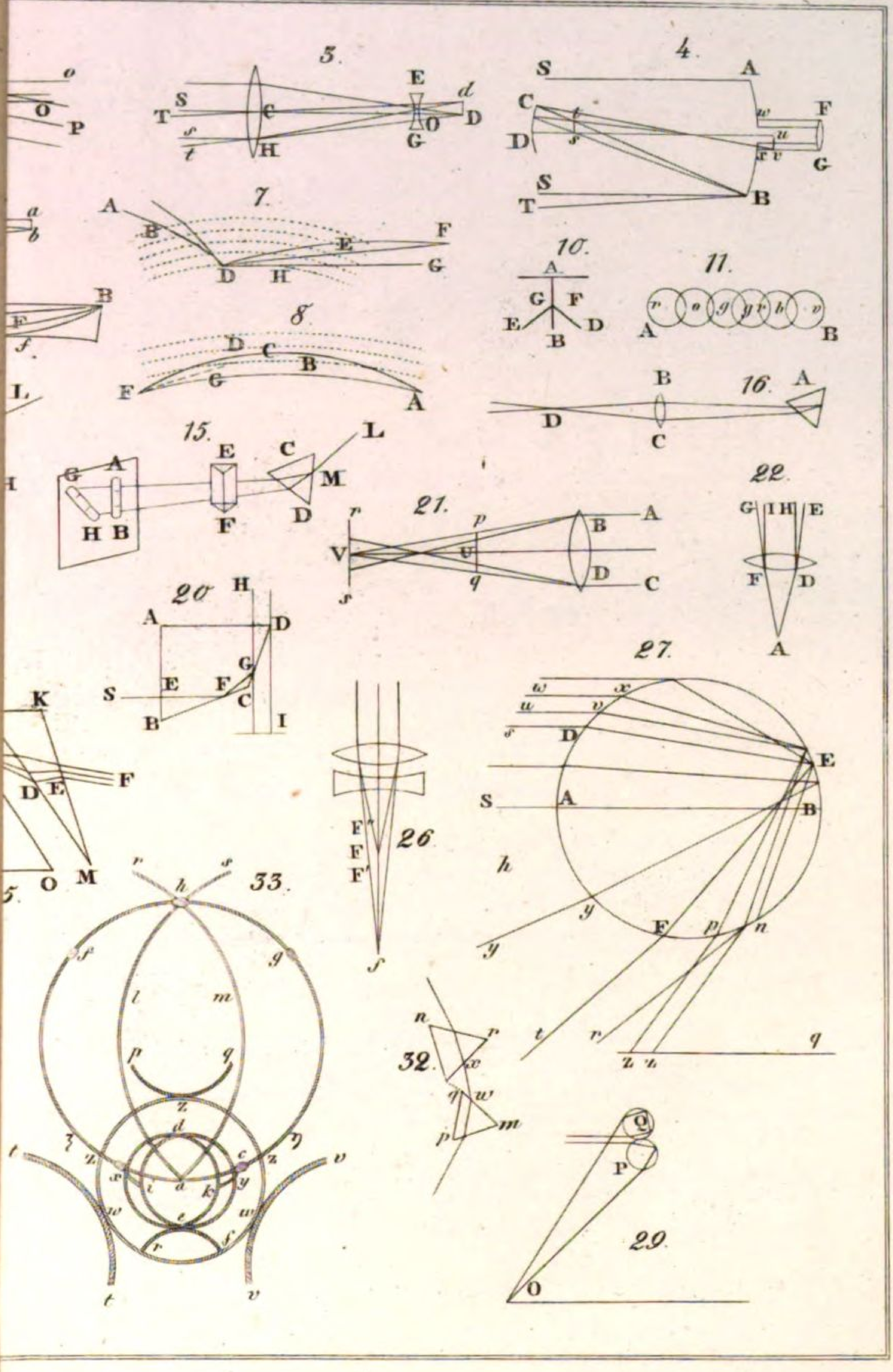

3.
4.
5.
6.
12.
11.
13.
19.
20.
21.
22.
27.
28.
29.
33.
34.
35.
37.

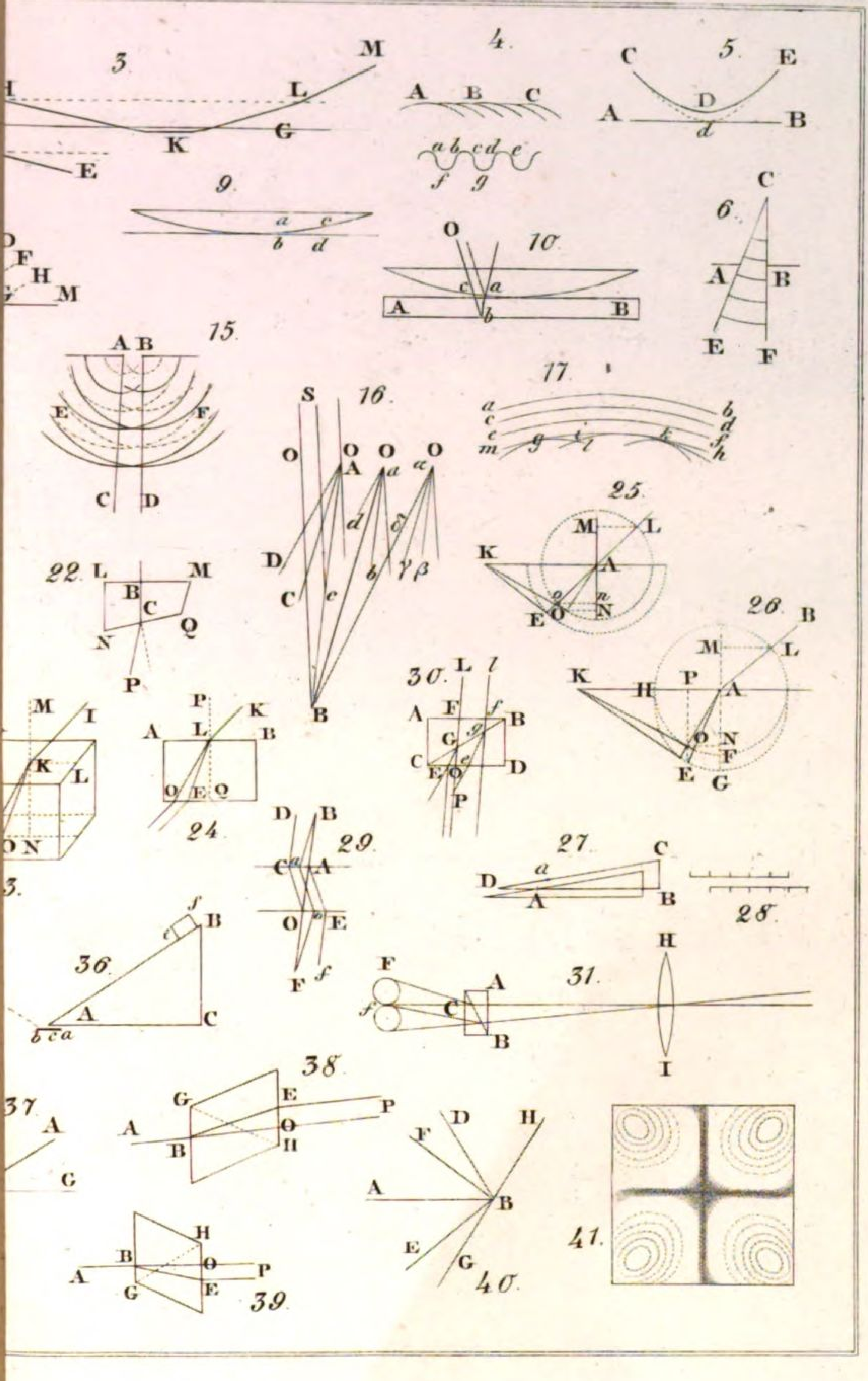

8.
9.
10.
11.
12.
13.
16
17.
18.
19.
20.
21.
22.
23.
25.
27.
28.
32.
33.
34.
35.
36.
37.

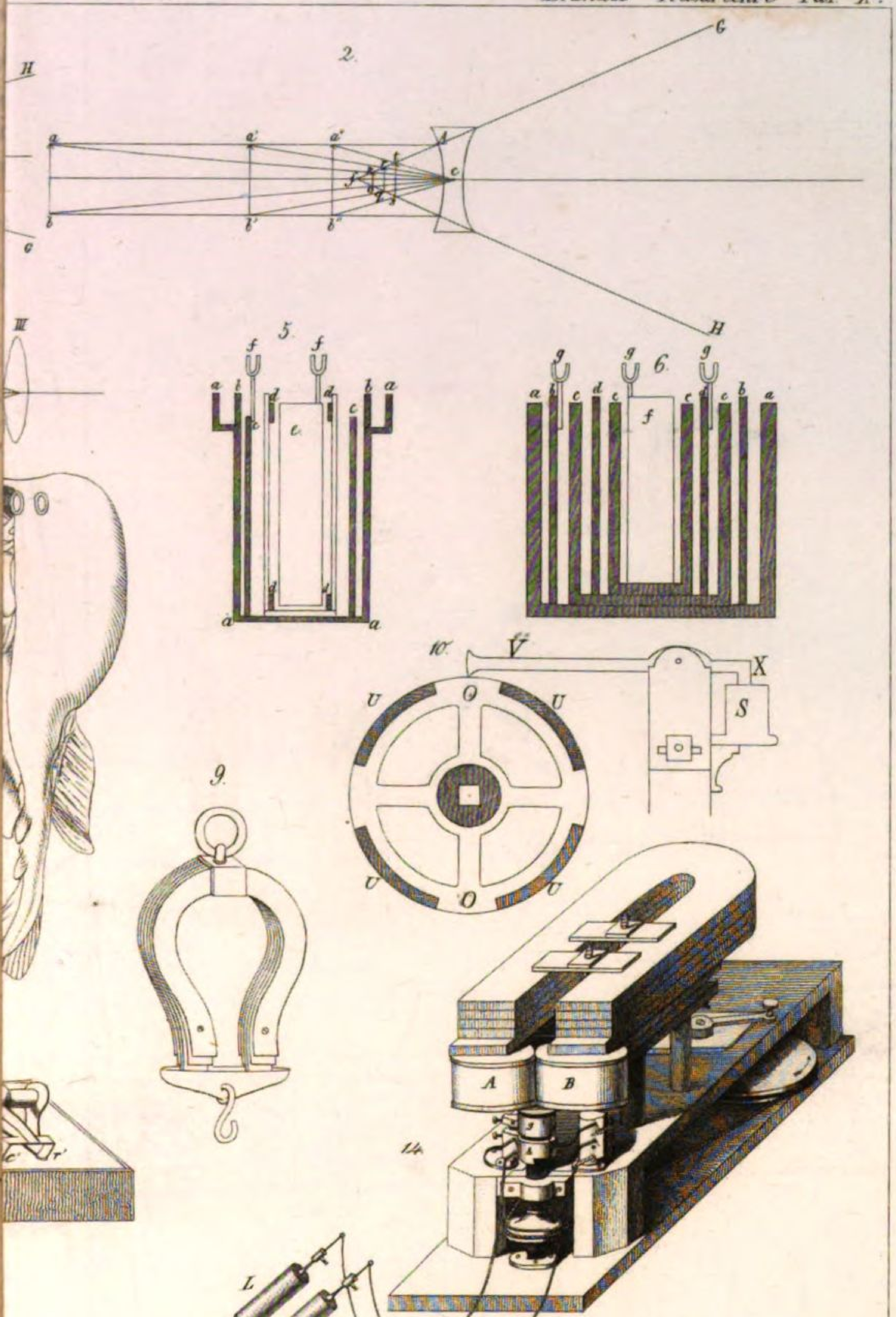

5.
6
7
8
14
15
16.
17
21
22.
23
24
25.
31
32
33.
34
36

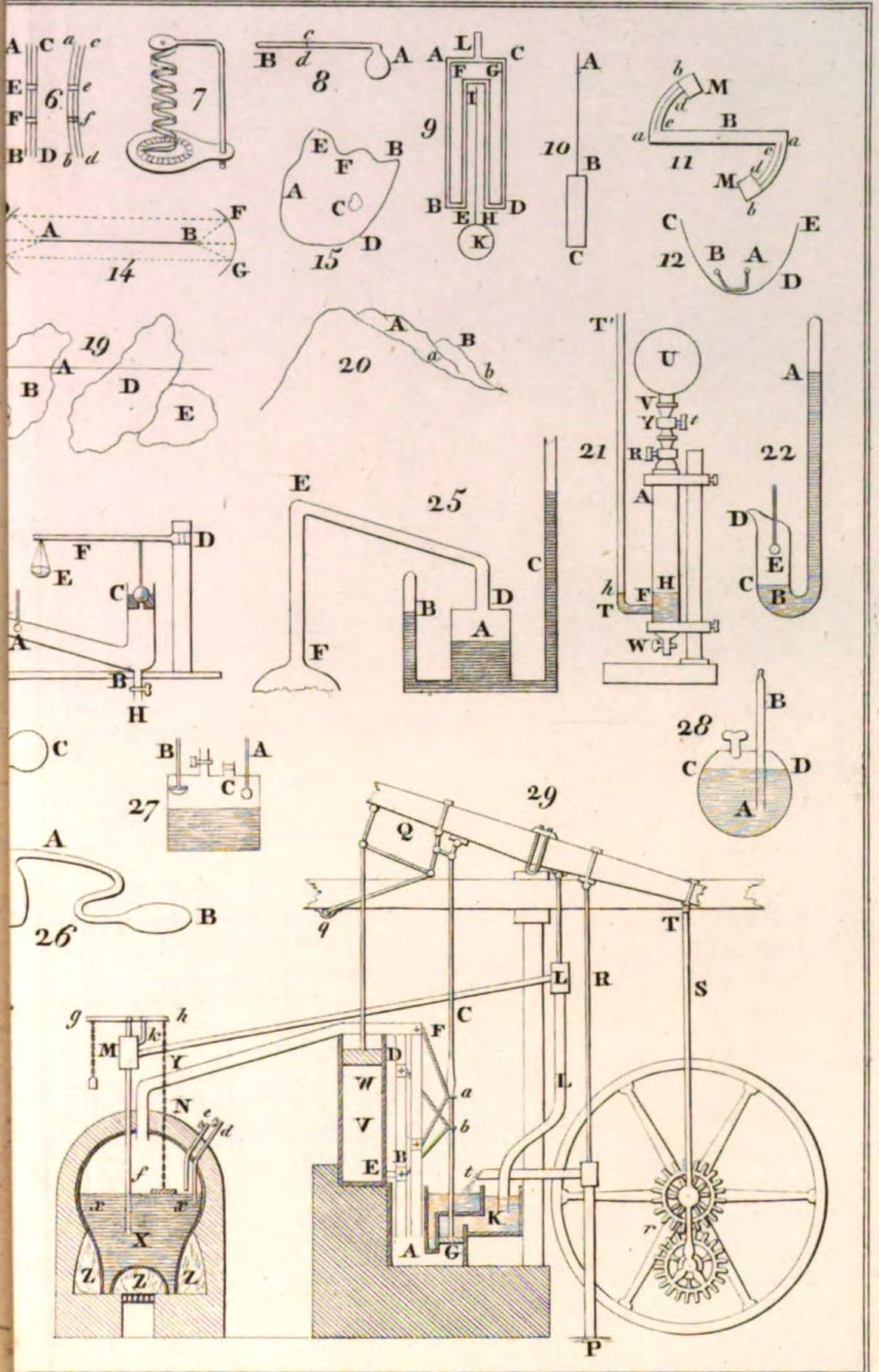

7.
8.
9.
10.
11.
12.
19.
20.
21.
28.
29.
30.
31
35.
37.
38.
39.


3.
4
5.
8.
9.
13.
14.
15.
16.
21.
22.
23.
26.
30.
31.
32.
33.
34.
35.

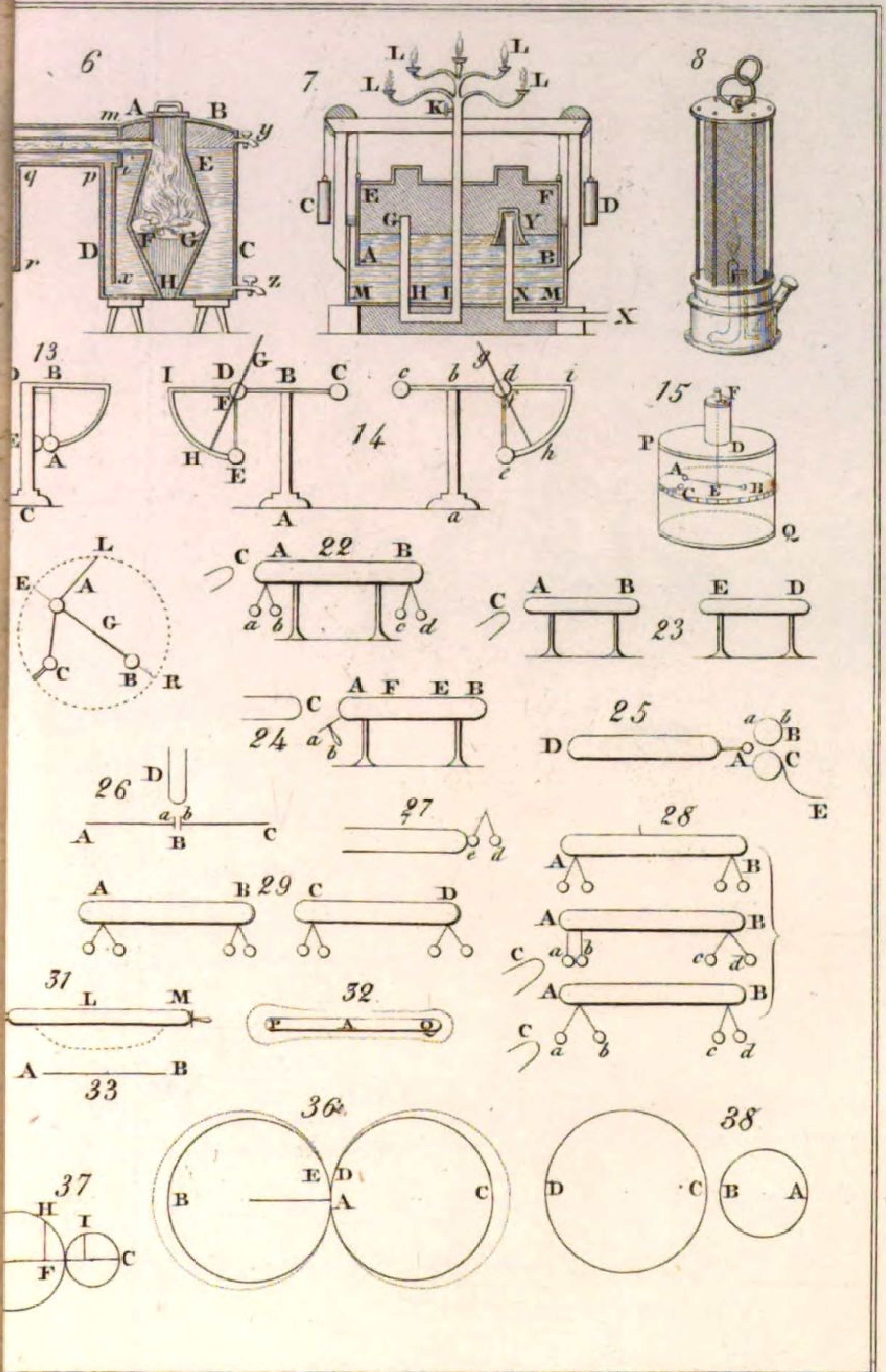

3.
4.
7.
8.
10.
11.
15.
16.
20.
21.
22.
26.
27.
29.
32.
33.

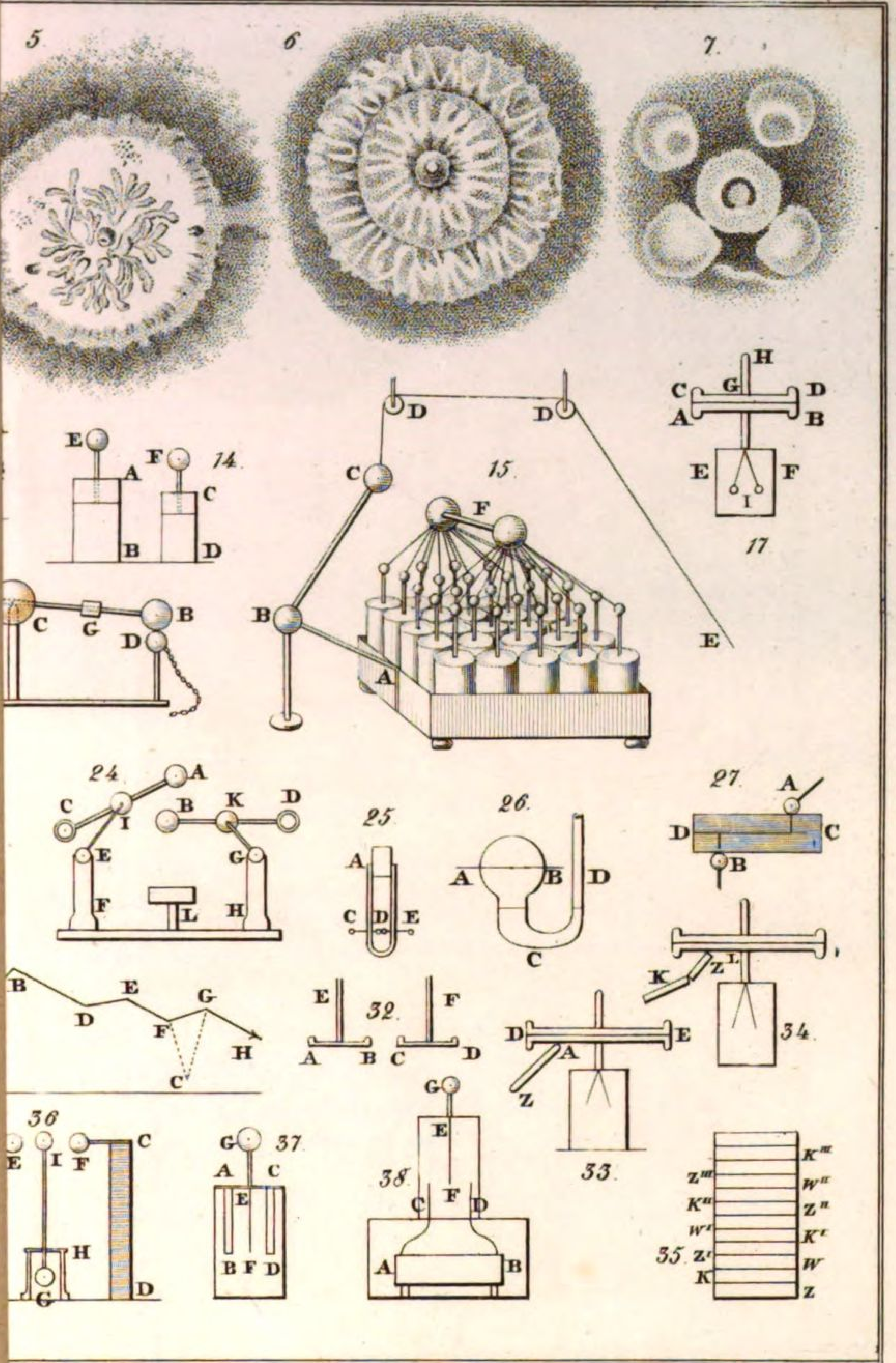

3.
4.
5.
6.
9.
10.
15.
16.
17.
22.
23.
24.
25.
26.
27.
28.
29.
30.
31.
36.
37.
38.
39.
40.
41.

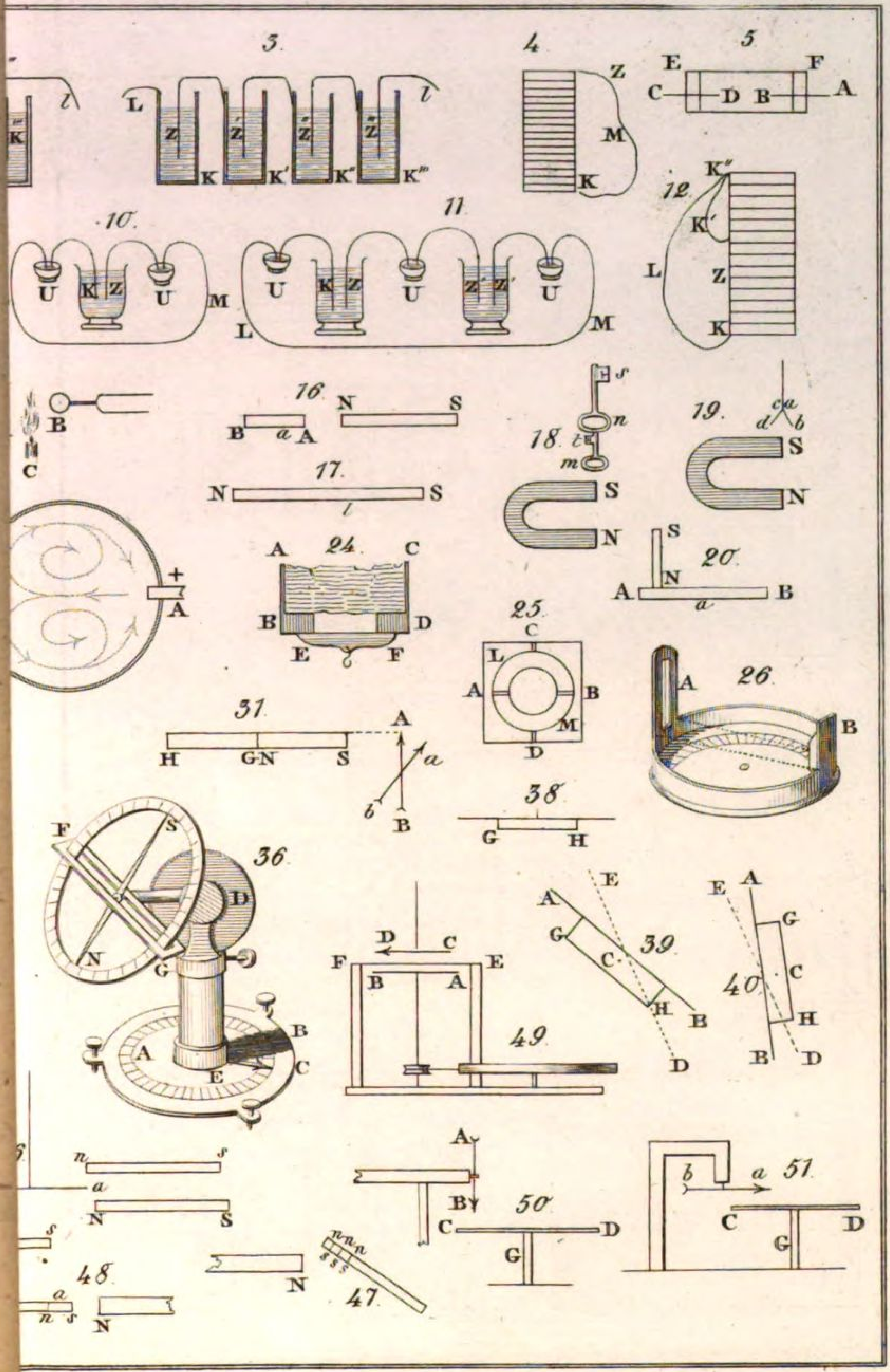

2.
5.
6.
9.
10.
14.
G
H
A
B
L
R
S
X
V
O
U

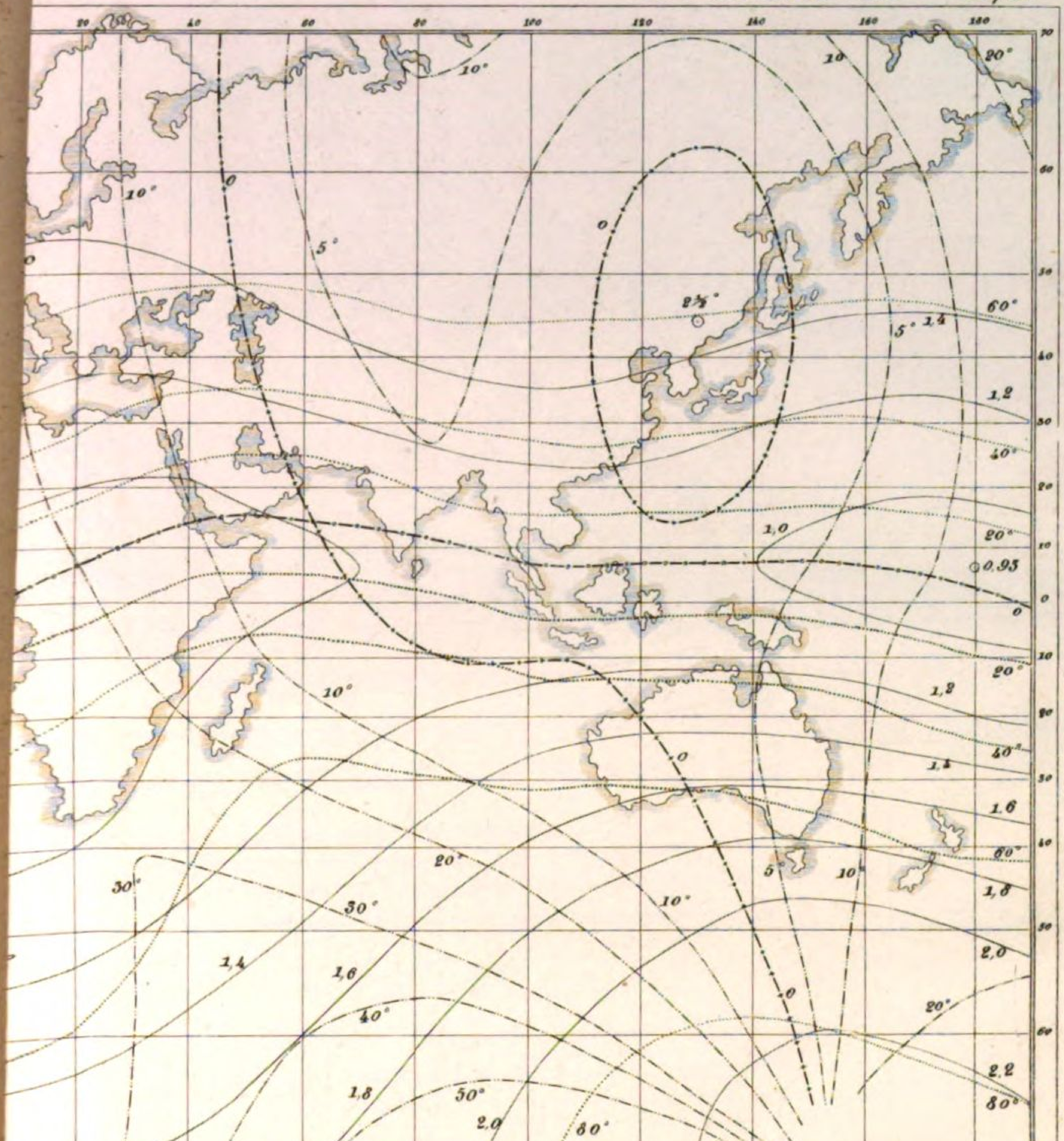


Fr. Ed. Müller sc. Leipzig

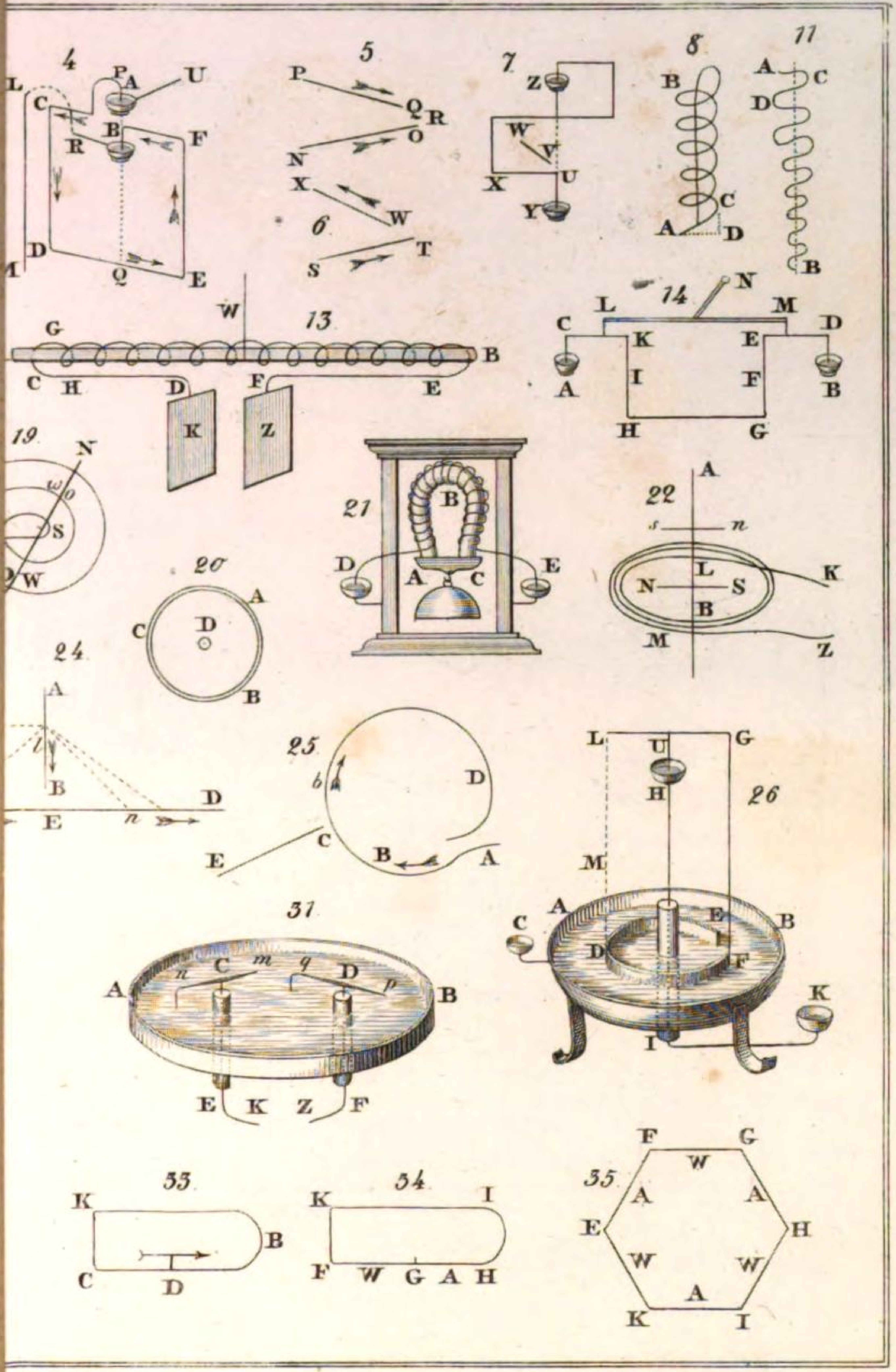

6
7
8
13
14
15
22
23
24
25
26
27
28
29
31
32
33
36
37
38


5.
6.
7.
14.
15.
17.
24.
25.
26.
27.
32.
33.
34.
35.
36
37.
38.


3.
4.
5.
10.
11.
12.
16.
17.
18.
19.
20.
24.
25.
26.
31.
36.
38.
39.
40.
47.
48.
49.
50.
51.



20
40
60
80
100
120
140
160
180
10°
10
20°
0
10°
5°
0
2½°
60°
1,4
1,2
40°
1,0
20°
0,93
0
20°
10°
1,2
0
40°
1,4
1,6
60°
5°
10°
1,8
30°
20°
10°
30°
2,0
1,4
1,6
0
20°
40°
2,2
1,8
50°
80°
2,0
60°
Pol


4
5
6
7
8
11
13
14
19
20
21
22
24
25
26
31
33
34
35

Bayerische
Staatsbibliothek
MÜNCHEN

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Brandes, Heinrich Wilhelm,

Vorlesungen über die Naturlehre für Leser, denen es an mathematischen Vorkenntnissen fehlt

Leipzig 1844

Phys.g. 626 z
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10132388-9